



KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

Zentralabteilung für Chemische Analysen

**Gebiete mit erhöhter
natürlicher Radioaktivität**

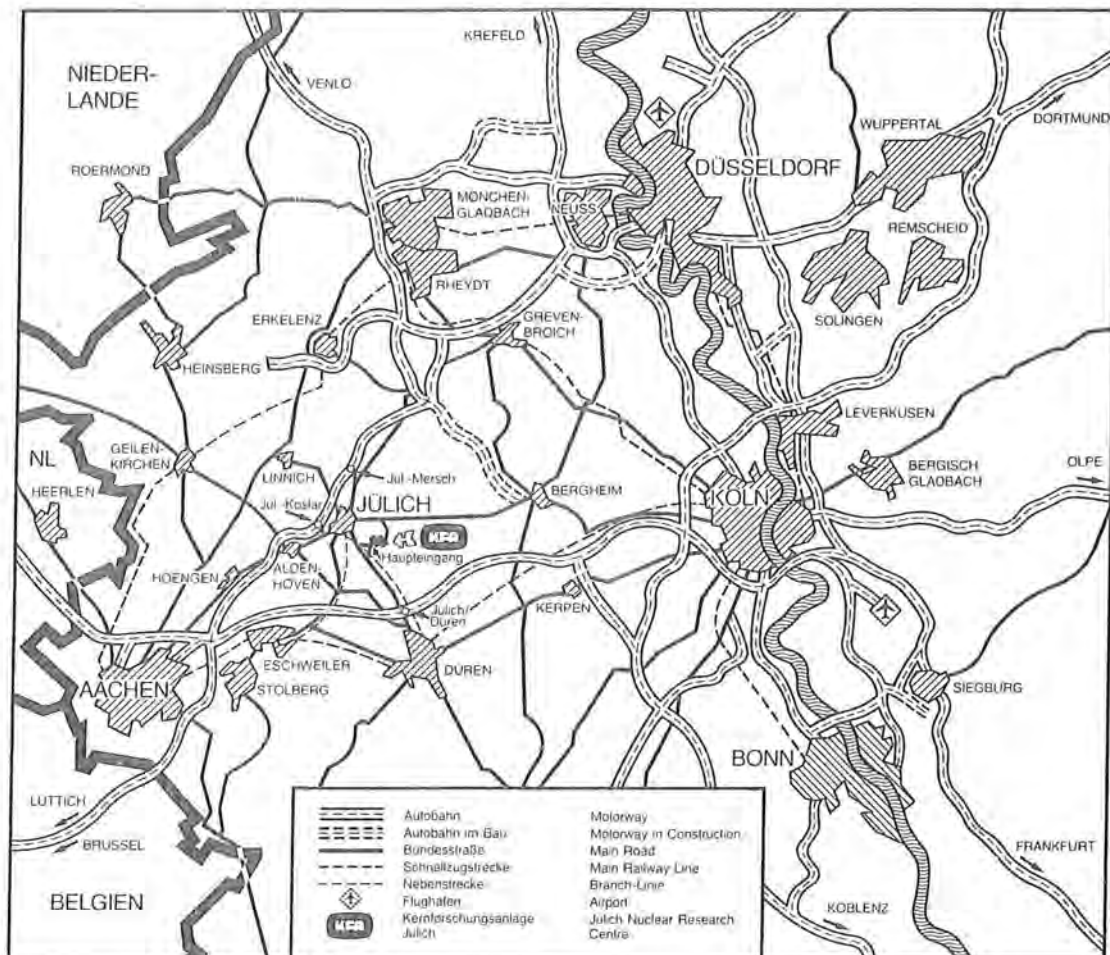
**III. Strahlungs-, Uran-
und Radonanomalien im
Fichtelgebirge**

von

B. Sansoni, W. Matthes

Jül-Spez-334
Oktober 1985
ISSN 0343-7639





Als Manuskript gedruckt

Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 334

Zentralabteilung für Chemische Analysen Jül-Spez-334

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 19 13 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d

Gebiete mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

III. Strahlungs-, Uran- und Radonanomalien im Fichtelgebirge

von

B. Sansoni, W. Matthes

Zentralabteilung für Chemische Analysen

Gebiete mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

III. Strahlungs-, Uran- und Radonanomalien im
Fichtelgebirge (x)-(xxx)

Bruno Sansoni, Winfried Matthes

- (x) Erweiterte Fassung eines Vortrages auf der 18. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. am 7. Oktober 1985 in Lübeck-Travemünde an Bord der Finnjet. Auch in "18. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V.: Strahlenexposition der Bevölkerung, März 1986", FS-85-37 T.
- (xx) I. Mitteilung: B. Sansoni, Natural high background areas at Fichtelgebirge, in: K.G. Vohra, U.C. Mishra, K.C. Pillai, S. Sadasivan (Eds.), Natural Radiation Environment, Proceedings of the Second Special Symposium on Natural Radiation Environment, Bombay, January 19-23, 1981; Wiley Eastern Limited, New Delhi etc., 1982; p. 74-84
II. Mitteilung: B. Sansoni, A study of gamma dose rate measurements at the Fichtelgebirge and comparison with a monazite sand area at Tamil Nadu in India. Berichte der Kernforschungsanlage Jülich GmbH., in Vorbereitung.
- (xxx) Herrn Professor Dr. Y. Nishiwaki, International Atomic Energy Agency, Wien, zum 65. Geburtstag gewidmet.

Oktober 1985

Inhalt	Seite
Vowort	
Zusammenfassung	1
1. Allgemeiner Teil	3
1.1 Gebiete mit erhöhter natürlicher Radioaktivität	3
1.2 Geologie des Fichtelgebirges	7
1.3 Aufgabenstellung	17
2. Experimentelles	20
2.1 Gammadosisleistung	20
2.2 Uranbestimmung in Gesteinen und Böden	21
2.3 Uranspurenbestimmung in Wasser	21
2.4 Radon-222 und Radium-226 in Wasser	21
2.5 Physikalisch-chemische Daten	22
2.6 Chemische Elemente	22
2.7 Organisation des Messungen. Vergleichsanalyse	22
3. Gammadosisleistung	25
3.1 Autostraßen	25
3.2 Granitsteinbrüche	28
3.3 Berggipfel mit Touristenpunkten	28
3.4 Granithöhlen	30
3.5 Hochmoor	31
3.6 Städte	31
3.7 Schlackensteinpflaster	34
3.8 Hohe Strahlungsanomalien	36
3.9 Mittelwerte für das Untersuchungsgebiet	38
3.10 Strahlenbelastung auf den Strahlungsanomalien	39
3.10.1 Maximal mögliche Strahlenbelastung	39
3.10.2 Gesundheitszustand der Bevölkerung	40
4. Uran in Gesteinen und Böden	43
4.1 Granite und Böden	43
4.2 Schlackenstein aus Marktredwitz	43
5. Einzelnuklide in Gesteinen und Böden	46
6. Radon in Quellen-, Brunnen- und Trinkwasser (mit J. Schnitzler)	48
6.1 Allgemeines	48
6.2 Bisherige Literaturwerte	49
6.3 Ergebnisse der Meßfahrt im Fichtelgebirge	52
6.3.1 Gesamtkollektiv	52
6.3.2 Granitgebiet	53
6.3.3 Flüsse und Bäche	53
6.3.4 Quellzuflüsse zu Sammlern, Hochbehältern und Aufbereitungsanlagen von Gemeinden und Orten	55
6.3.5 Trinkwasser von Gemeinden und Orten	55
6.3.6 Höchste Radon-222-Konzentrationen im Fichtelgebirge	56
6.3.7 Radonquellen	56
7. Dank	59
8. Literatur	60

Vorwort

Das Fichtelgebirge gehört zu den zwei bis drei Gegenden der Bundesrepublik mit erhöhtem Untergrund an natürlicher terrestrischer Radioaktivität. Als Einwohner dieses Gebietes, der dort geboren ist, zwanzig Jahre in der Gegend gelebt hat und schon als Schüler 1941-44 in den Steinbrüchen nach Uranmineralen gesucht hatte, war der Unterzeichnete verständlicherweise an einer Übersicht über die natürliche Radioaktivität des Fichtelgebirges und einer Abschätzung der sich daraus ergebenden Strahlenbelastung der Bevölkerung, insbesondere auch von kleinen Gruppen und Einzelpersonen auf Strahlungsanomalien, interessiert.

1) Eigene Untersuchungen wurden ab 1966 durch eine Tätigkeit als Abteilungsleiter im Institut für Strahlenschutz (Leiter: Prof.Dr. F. Wachsmann, später Prof.Dr. W. Jacobi) der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH in München-Neuherberg möglich. Im Jahre 1975 war dort das erste tragbare und hoch empfindliche Gammadosisleistungsmeter von W. Kolb und U. Lauterbach (1) für die Radonmessung in Wohnräumen angeschafft worden. Der Unterzeichnete erhielt es freundlicherweise von den Kollegen Wachsmann und David während der Sommerferien geliehen und konnte damit, zusammen mit seiner Frau, im Urlaub das Fichtelgebirge durchstreifen. Die gemessenen Dosisleistungswerte finden sich auf den Seiten 25 bis 36. Nach der 1976 erfolgten Übersiedlung nach Jülich wurden die Messungen während der Sommerferien bis 1981 fortgesetzt. Lediglich die statistische Auswertung der Meßergebnisse erfolgte nach den Programmen ZCH-2 und ZCH-3/2 durch Frau R. Kurth in der KFA (2).

Im Rahmen des bilateralen deutsch-indischen Forschungsvorhabens über Advanced Problems in Trace Analysis (3) weilte 1981/2 Herr Dr. M.A.R. Iyengar, Leiter des Environmental Survey Laboratorys der Health Physics Division des Bhabha Atomic Research Centre in Kalpakkam, Südindien, in der ZCH, um gemeinsam Methoden der Spurenanalyse von Radionukliden zu bearbeiten. Um die ausgearbeiteten Methoden zu erproben, wurden 1981 und 82 zwei kurze

Meßfahrten in das Fichtelgebirge unternommen. Dabei ergaben sich erste Hinweise, daß Radon-222 in natürlichen Quellen und Brunnen des dortigen Granitgebietes weiter verbreitet ist und in höheren Konzentrationen vorkommt als bis dahin angenommen. Damals stand die Uranprospektion der Esso-Erz GmbH in Großschloppen im Mittelpunkt der öffentlichen Diskussion. Daher wurde auf Bitten des Staatlichen Gesundheitsamtes Wunsiedel (Leiter: Dr. H. Schippel) und ab 1983 auch der Regierung von Oberfranken (Gesundheitsreferent LtdMedDir. Dr. G. Konhäuser) die Radioaktivität nicht nur der natürlichen Quellen und Brunnen, sondern auch von Trinkwasserversorgungen systematischer studiert. Dazu stellte das Gesundheitsamt für die Messungen im Feldlabor in Tröstau in dankenswerter Weise Frau R. Scacciaferro ab. Seit 1984 wurden neben Radon-222 und Radium-226 auch Uran, vorher schon die Temperatur, elektrische Leitfähigkeit, gelöster Sauerstoff und der pH-Wert in die Wasseruntersuchungen einbezogen. Soweit es freie Kapazitäten zuließen, konnte außerdem der Chemische Analysendienst der ZCH für Multielement-Spurenanalysen in ausgewählten Wässern herangezogen werden. Im Jahre 1982 erfolgten die Arbeiten im Rahmen des FE-Programmes FE 62.100, 1983/84 unter 62.101 und ab 1985 unter FE 62.200.

Von Beginn an hatten den Unterzeichneten die Herren Dr. H. Gudden, Abteilungsleiter im Bayerischen Geologischen Landesamt als Geologe, Dr. K. Reul vom Hessischen Landesamt für Bodenforschung als Hydrologe und Prof. Dr. Y. Nishiwaki von der Atomenergiebehörde in Wien auf dem Gebiet des Strahlenschutzes beraten. Für Diskussionen über die Abschätzung von Äquivalentdosisleistungen und Empfehlungen der ICRP danke ich außerdem meinen Jülicher Kollegen Herrn Prof. Dr. L. Feinendegen und Dr. M. Keller.

Über die Gammadosisleistungsmessungen wurde erstmals 1981 auf dem Symposium über Natural Radiation Environment in Bombay vorgetragen (4). Wegen des lebhaften Interesses einer breiten

Öffentlichkeit im Fichtelgebirge wurde diese jeweils durch ausführliche Berichte in den örtlichen Tageszeitungen unterrichtet. Für fachlich sehr gute Berichterstattung dankt der Unterzeichnete den beiden Redakteuren, Herrn F. Stumpf von der Frankenpost (Hof) (5) und Herrn J. Rauh vom Sechsamterboten in Wunsiedel (6), außerdem Herrn Redakteur D. Scharf für eine Sendung im Bayerischen Rundfunk am 25.5.1983. Für die Textverarbeitung in vorliegender Arbeit danken wir Frau A. Schorn, für die Bilder 4, 5, 6, 7, 23 Herrn K. Peters von den Graphischen Betrieben der KFA.

B. Sansoni

Literatur

- 1) W. Kolb, U. Lauterbach, Ein Dosisleistungsmesser für die Messung der Umgebungsstrahlung, in: Rapid Methods for Measuring Radioactivity in the Environment (Y. Nishiwaki, B. Sansoni (Eds.)), Proceedings Series, International Atomic Energy Agency, 1971; S. 565-572
- 2) B. Sansoni, R.K. Iyer, R. Kurth, Concentration of Analytical Data as Part of Data Processing in Trace Element Analysis, Fresenius Z. Anal. Chem. 306 (1981), 212-232
- 3) Literaturübersicht über Veröffentlichungen und Vorträge aus diesem Forschungsvorhaben bei B. Sansoni, in: S.D. Soman, Background radioactivity in the monazite areas of Kerala, India, Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Nr. 161 (Juli 1982)
- 4) B. Sansoni, Natural High Background Areas at Fichtelgebirge, in: Natural Radiation Environment (K.G. Vohra, U.C. Mishra, K.C. Pillai, S. Sadasivan, Eds.), Wiley Eastern Ltd., New Delhi, 1982; p. 74-84
- 5) F. Stumm, Berichte in der Frankenpost (Hof) am 26./27.4.80; 18. und 28./29.5.83; 4./5.6.83; 16., 18. und 26.6.84.
- 6) J. Rauh, Berichte im Sechsamterboten (Wunsiedel) am 15., 26./27. und 29.4.80; 24.9.81; 21.9.82; 21.5. und 4.6.83, 26.6.84, 22.6.85

Zusammenfassung

Das Fichtelgebirge gehört zu den Gegenden der Bundesrepublik mit erhöhter natürlicher Radioaktivität. Diese ist primär auf variskische Granite mit Bruchschollentektonik zurückzuführen.

Dort wurden ab 1975 Übersichtsmessungen der Gammadosisleistung durchgeführt, um örtlich begrenzte natürliche Strahlungsanomalien mit hohen Gammadosisleistungen (hot spots) aufzufinden. Auf den Autostraßen ergaben sich über befestigtem Asphalt Mediane von 6 - 7 $\mu\text{R/h}$, auf unbefestigten Forststraßen 9 - 11 $\mu\text{R/h}$; in Granitsteinbrüchen 14 - 34, auf Berggipfeln mit Aussichtspunkten 15 - 25, in Granithöhlen 36-48, auf einem Hochmoor 7 - 9, in Ortschaften 15 - 20 $\mu\text{R/h}$. Die mit Abstand höchste Gammadosisleistung mit einem Median von 53,1 $\mu\text{R/h}$ wurde 1975 über dem inzwischen größtenteils entfernten Schlackensteinpflaster auf dem Marktplatz und der Hauptstraße von Marktredwitz gefunden. Der Urangehalt des Schlackensteines betrug 80 - 100 ppm U.

Als Gesamtmittel ergaben 1224 Außenmessungen einen Median von 18,0, ein arithmetisches Mittel von 21,1 und einen Bereich von 4 bis 68 $\mu\text{R/h}$. Zum Vergleich haben die Büroräume der Autoren im Zentrum der KFA 6 - 7 $\mu\text{R/h}$, das Jahresmittel am Zaun der KFA betrug 1975 7,8 - 8,3 $\mu\text{R/h}$.

Die bisher in Graniten bestimmten Urangehalte bewegen sich zwischen 3,2 und 25,1, der Median beträgt 11,6 $\mu\text{g U/g}$ (ppm) für $N = 23$. In Böden sind es entsprechend 2,7-339, Median 28,2 ppm U für $N = 13$.

Die 134 im Mai/Juni 1984 untersuchten Wässer von Quellen, Brunnen und Trinkwasserversorgungen, vornehmlich im Granitgebiet des Fichtelgebirges, hatten mittlere Rn-222-Konzentrationen zwischen $\leq 0,2$ und 50,2 nCi/l; Median 8,5 nCi/l. Im Granitgebiet

alleine lagen die 64 Werte zwischen 1,1 und 50,2; Median 12,8 nCi/l. Ein Drittel davon (!) waren Radonquellen mit über 18 nCi/l. Zum Vergleich lagen 531 Erhebungsmessungen des Bundesgesundheitsamtes von Trinkwasser in der Bundesrepublik (1981) zwischen \leq 0,1 und 8,7; Median 0,159 nCi Rn-222/l.

Zwischen 1981 und 1985 haben wir im Fichtelgebirge insgesamt etwa 60 (!) Radonquellen mit 18 - 56 nCi Rn-222/l, überwiegend auf Granitgebiet, gefunden oder bestätigt. Das ist eine unerwartet weite Verbreitung von Radon in den Quellen der Oberflächenwässer des Fichtelgebirges, deren Radonkonzentration jedoch diejenige des benachbarten Elster- und Erzgebirges nicht erreicht. Erfreulicherweise überschreiten die zugehörigen Radium-226-Konzentrationen nur selten wenige pCi Ra-226/l.

1. Allgemeiner Teil

Nach einer Einführung und Definition von Gebieten mit hoher natürlicher Radioaktivität folgt eine kurze Beschreibung der Geologie des Fichtelgebirges im Hinblick auf dessen Strahlungs- und Urananomalien und anschließend die Aufgabenstellung.

1.1 Gebiete mit erhöhter natürlicher Radioaktivität

Die natürliche Radioaktivität der äußeren Erdoberfläche hat ihren Ursprung ganz überwiegend in den chemischen Elementen Uran, Thorium und Kalium. Hier sind es vor allem die Radionuklide U-238, Th-232 mit ihren Tochternukliden sowie K-40. Die von ihnen ausgehende Alpha-, Beta-, Gamma- und Röntgenstrahlung bildet den überwiegenden terrestrischen Anteil des natürlichen Strahlungsuntergrundes der Erde an ionisierender, "radioaktiver" Strahlung.

Die Elemente Uran, Thorium und auch Kalium sind in der äußeren Erdkruste nicht homogen verteilt. Uran ist im Boden im allgemeinen häufiger anzutreffen als gemeinhin bekannt. Im Laufe der Erdgeschichte kam es zu Differenzierungen, die weit über das Hundertfache ihrer Konzentrationen betragen können (5). In Strahlungsanomalien kann es noch wesentlich mehr sein.

Geochemisch gesehen kennt man hauptsächlich sechs verschiedene Typen von radioaktiven Anomalien, die für die Beobachtung der Strahlendosisbelastung der Bevölkerung wichtig geworden sind (5):

- 1) Monazite und andere Erzlagerstätten
- 2) Alkalische Intrusionen und saure Granite
- 3) Bauxite und stark verwitterte Böden
- 4) Uranhaltige Phosphatgesteine und Böden
- 5) Mit Radium und Radon angereichertes Grundwasser
- 6) Schwarzschiefer und verwandte organische Anreicherungen, sowie gelegentlich
- 7) Braunkohle- und Torflagerstätten.

Die Strahlungsanomalien des Fichtelgebirges gehören überwiegend zu den Typen 2), 4) und 5). Es sind meist Uran- aber auch Radonanomalien. Hinsichtlich einer Auswirkung auf die Strahlenbelastung der dortigen Bevölkerung ist darauf hinzuweisen, daß diese im allgemeinen nicht unmittelbar auf Granitstein wohnt und lebt. Ist dies doch der Fall, so befindet sich meist Boden dazwischen, der selbst als Abschirmung wirken kann (5).

Man spricht von einem "Gebiet mit hohem natürlichen Strahlungsrückgrund", wenn zumindest eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist (16, 14, 17, 1, 28):

- 1) Strahlendosisbelastung aus externen terrestrischen Strahlenquellen auf größeren Flächen größer als 200 mR/a (entsprechend 22,8 μ R/h).
- 2) Die mit örtlicher Nahrung und örtlichem Wasser aufgenommene langlebige Alphaaktivität ist größer als 50 pCi/d.
- 3) Radonkonzentrationen in Trinkwasser größer als 5000 pCi/l
- 4) Radon- und Thoronkonzentration in der Atmosphäre größer als 1 pCi/l.

Danach genügt bereits ein Radongehalt des Trinkwassers von über 5000 pCi/l, um das betreffende Gebiet als "High background radiation area" zu bezeichnen. Es ist in diesem Zusammenhang wichtig, darauf hinzuweisen, daß es sich dabei insgesamt immer noch um ausgesprochene Low-Level Belastungen handelt. In den letzten Jahren ist die Messung der Abgabe von Radon-222 aus Wohnräumen und die dadurch auf dem Inhalationspfad entstehende Strahlenbelastung der Bevölkerung zu einem der aktuellen Themen des Strahlenschutzes geworden.

Gebiete mit hoher natürlicher Radioaktivität lassen sich in Übersichtsmessungen als Strahlungsanomalien finden. Diese Messungen erfolgen entweder mit dem Geigerzähler in Impulsen pro Zeiteinheit (I/min) oder mit einem hoch empfindlichen Gammadosisleistungsmeter in Mikroröntgen pro Stunde (μ R/h). Die Gammadosisleistung hat neben dem Nachteil der starken Abhängig-

keit von der Meßgeometrie und deshalb geringeren Materialspezifität den großen Vorteil des unmittelbaren Bezugs zur Strahlenbelastung des Menschen am Meßort und die direkte Umrechenbarkeit in mrem/Jahr. Die Prospektion von Strahlungsanomalien kann auch mit einem Szintillationszähler (z.B. großer NaJ-Detektor) in Meßfahrten entweder im Auto (carborne) oder großräumiger mit dem Flugzeug (airborne) erfolgen. Hierdurch werden jedoch kleinere, aber durchaus interessante Strahlungsanomalien leicht übersehen. In jedem Fall müssen die gefundenen Strahlungsanomalien anschließend durch Gammadosisleistungen zu Fuß (outdoor) ergänzt werden. In vorliegender Arbeit erwiesen sich die Messungen aus dem Fahrzeug wegen des meist monotonen und abschirmenden Straßenunterbaues als relativ unergiebig, sodaß überwiegendes Gewicht auf die Messungen mit dem Gammadosisleistungsmeter zu Fuß und im Freien gelegt wurde.

Auf diese Weise kann man nur Anomalien der natürlichen Gammastrahlung suchen, nicht aber solche der Alpha-, Beta- oder Röntgenstrahlung. Wesentlich weitergehender ist daher die Suche nach Urananomalien, die sich der chemischen Spurenanalyse von Uran, darüber hinaus möglichst auch von Thorium und Kalium in Boden-, Gesteins- und Wasserproben bedient. Ein noch vollständigeres Bild erhält man durch anschließende Einzelnuklidanalyse mit Hilfe von Low-Level Gammaspektrometrie und Alphaspektrometrie. Zur Vorhersage des radioökologischen Verhaltens wäre zusätzlich noch eine Kenntnis der chemischen Formen der Einzelnuklide und Elemente der Strahlungsanomalie erwünscht.

Strahlungsanomalien werden häufig im Rahmen des Strahlenschutzes behandelt, Urananomalien dagegen meist getrennt davon in der Geologie und Erzprospektion.

Abb. 1 zeigt das Ergebnis von Erhebungsmessungen der Gammadosisleistung im Gesamtgebiet der Bundesrepublik. Sie wurden seit Mitte der siebziger Jahre vom Bundesgesundheitsamt (Aurand, Schmier u.a.) im Auftrage des Bundesministers des Inneren durch-

**Ortsdosisleistung der
terrestrischen Strahlung im Freien**

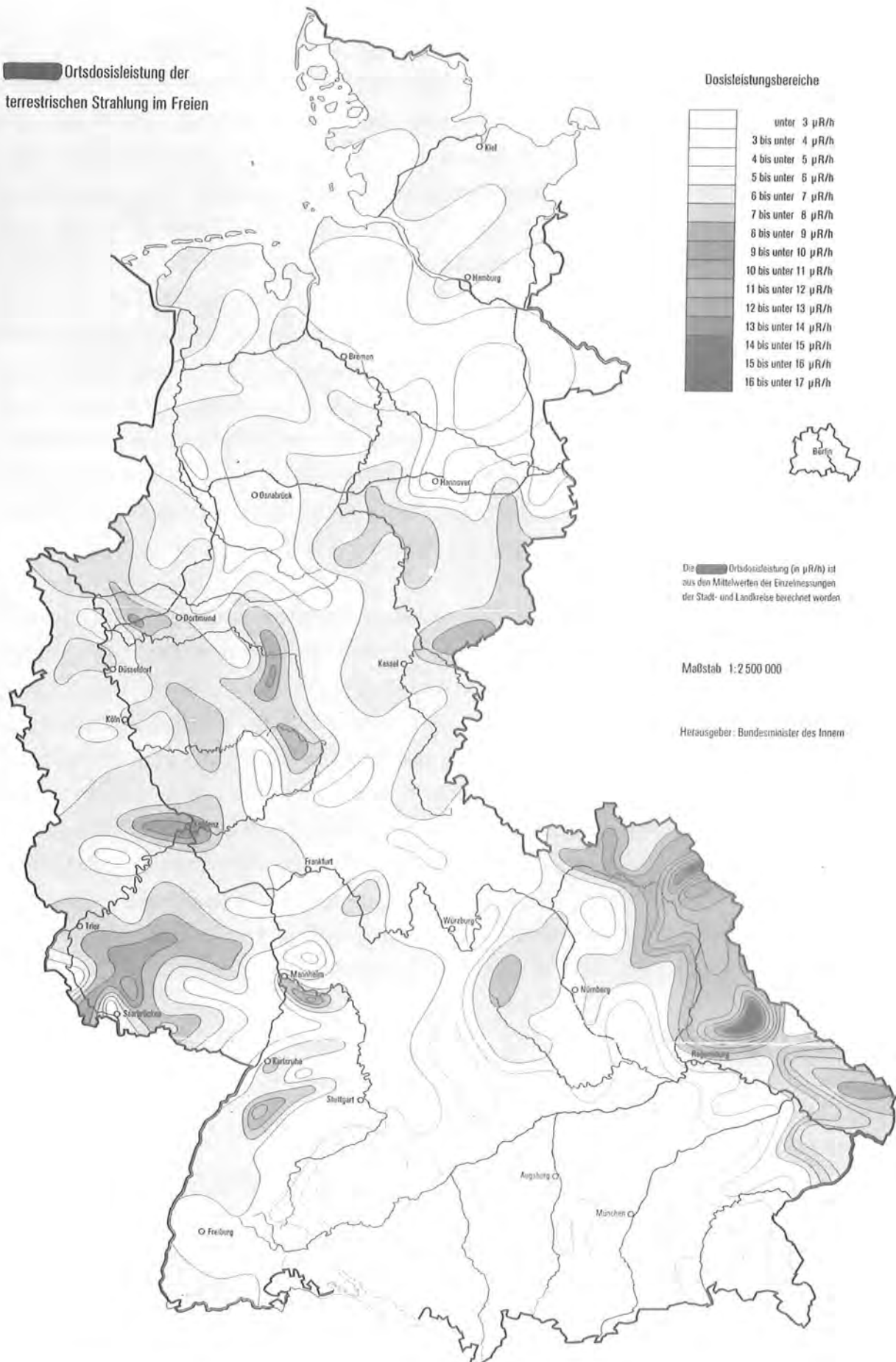


Abbildung 1: Ortsdosisleistung der terrestrischen Strahlung im Freien in der Bundesrepublik, Strahlungsanomalien (15)

geführt (15). Man erkennt daraus deutlich, daß das Fichtelgebirge und der angrenzende Oberpfälzer Wald zu den zwei bis drei Gebieten der Bundesrepublik mit den höchsten natürlichen Strahlenanomalien gehören. Für eine eingehendere Untersuchung von deren Feinstruktur reichte allerdings die Dichte der Meßwerte von unter hundert Meßpunkten im Landkreis Wunsiedel nicht aus.

Ein deutlicheres und detaillierteres Bild vermittelt in Abb. 2 die Lagekarte der in Bayern durch das Bayerische Geologische Landesamt (H. Gudden, K. Berger, G. Schmid u.a.) ermittelten Urananomalien (7). Darin zeigt sich eine erstaunliche Häufung in Nordost- und Ostbayern im Gebiet des Alten Granitgebirges vom Frankenwald über Fichtelgebirge, Steinwald, Oberpfälzer Wald bis zum Bayerischen Wald. Überraschend sind auch die zahlreichen Urananomalien im Sandstein Mittel- und Unterfrankens, die früher unbekannt waren.

Die in vorliegender Arbeit begonnene Messung der Konzentration von Radon-222, Radium-226 und Uran in natürlichem Quell-, Brunnen- und Trinkwasser unterstützt die Auffindung und Beschreibung von Urananomalien. Darüber hinaus liefert sie einen nicht unwichtigen Teilbeitrag zur Abschätzung der Strahlenbelastung von betroffenen Personen durch Ingestion und Inhalation.

1.2 Geologie des Fichtelgebirges

Das Fichtelgebirge liegt im Nordosten Bayerns und hat die Form eines nach Osten hin offenen granitenen Hufeisens (Abb. 3). Die Granitberge erheben sich darin halbkreisförmig auf etwa 800 bis 1051 m über dem Meer. Das innere Plateau bildet eine gewellte Hochebene zwischen 520 und 690 m. Berge sind überwiegend mit Fichten, gelegentlich und zunehmend auch mit Mischwald aus Fichten und Buchen bedeckt. Das Fichtelgebirge, vornehmlich der innere Ostrand, gehören zu den regenreichsten Gegenden Bayerns.

In Bayern aufgefundene Oberflächen - Strahlungsanomalien

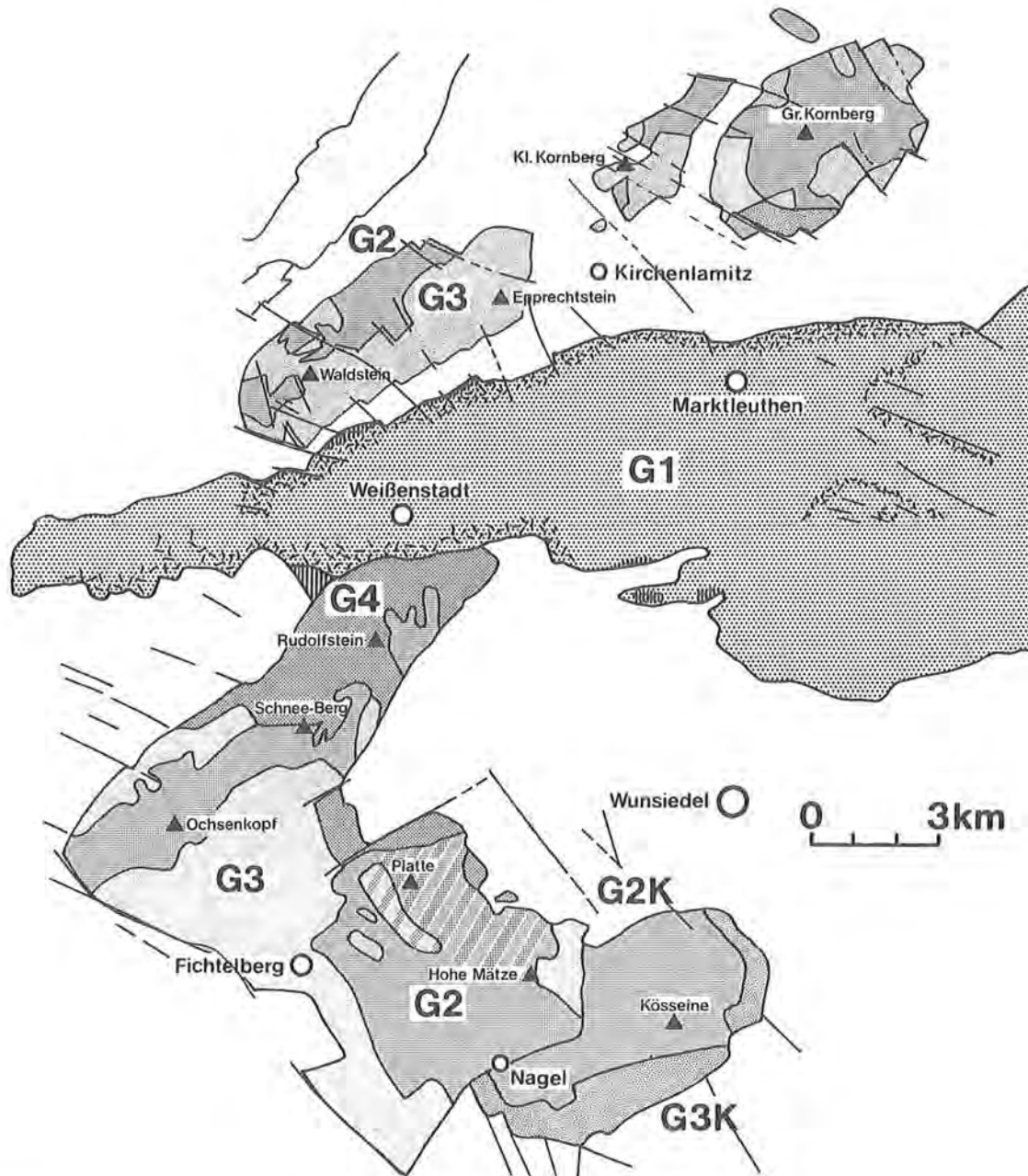
Stand : 1974

· aufgefunden durch das BGLA sowie durch Konzessionsträger oder andere



Abbildung 2: Urananomalien in Bayern, nach H. Gudden,
H. Schmid, J. Cardoso (7)

Granitgebiete des Fichtelgebirges / vereinfacht nach R. Richter, G. Stettner



- Randgranit G2, von Zinngranit G4 geochem. beeinflusst
- Zinngranit G4
- Kerngranit G3
- Kösseine-Kerngranit G3K
- Randgranit G2 Kösseine-Rand G2K
- Redwitzitische Randfazies von G1
- Porphyrganit G1 von Weißenstadt-Marktleuthen

Abbildung 3: Granitgebiete des Fichtelgebirges, vereinfacht
nach (26, 18)

Einen Eindruck vom Charakter der Landschaft vermittelt der Blick vom Gipfel der Kösseine (939 m) in Richtung Schneeberg (1054 m) (Abb. 4) sowie auf die Höhenlage am Tausendmeterstein (1000 m) unterhalb des Schneeberggipfels mit einem Waldschadensgebiet (Abb. 5). Abb. 6 und 7 zeigen zwei Granithöhlen, die Girkelhöhle (709 m) und die Nußhardtstube (972 m).

Die Geologie des Fichtelgebirges gehört zu den kompliziertesten und interessantesten der Bundesrepublik. Das Halbrund der Berge wird von jüngeren variskischen Graniten gebildet, die mit 370 km² über 40 % der Fläche des Fichtelgebirges bedecken (Abb. 3). Sie sind eingesäumt von ausstreichenden, gefalteten Sedimentgesteinen aus dem Cambrium bis Silur und enthalten metamorphe Kontaktzonen. Das tektonische Hauptereignis bei der Bildung des Fichtelgebirges war die variskische Faltung, die ganz Mitteleuropa von den Sudeten über Erz-, Elster-, Fichtelgebirge und Schwarzwald bis hin zum französischen Zentralmassiv durchzog. Die meisten dieser Granite sind uranhaltig. Das Fichtelgebirge ist in die Saxothuringische Zone und die Sudetenphase zwischen unterem und oberem Carbon einzuordnen. Das variskische Gebirge hat seine geologische Bezeichnung vom römischen Curia Variscorum, dem heutigen Hof/Saale an der Nordgrenze des Fichtelgebirges erhalten.

Das innere Plateau, die Wunsiedler Bucht, besteht ebenso wie die Münchberger Gneismasse nordwestlich des Fichtelgebirges, hauptsächlich aus vorvariskischen Gneisen, die sich durch Metamorphose älterer Sedimente während des Kontaktes mit den durchdringenden Granitmagmen gebildet haben. Das innere Plateau enthält außerdem Phyllite, im Süden den Wunsiedler Marmorzug und im Norden den frühvariskischen Granit Gl.

Eine detailliertere Beschreibung der Geologie des Fichtelgebirges mit Literaturangaben geben (29, 26, 18, 20).



Abbildung 4: Blick vom Gipfel der Kösseine (939 m) in Richtung Schneeberg (1051 m)



Abbildung 5: Höhenlage am Schneeberg, Tausendmeter-Stein, Blick auf Ochsenkopf (1024 m)



Abbildung 6: Girgelhöhle, zwischen Hohe Mätze und Silberhaus
(709 m)



Abbildung 7: Nußhardtstube, Granithöhle am Nußhardtgipfel
(972 m)

Stettner (26, 18) hat 1958 die Fichtelgebirgsgranite nach ihrer petrographischen Makrostruktur (Abb. 8) in die vier Hauptklassen G1 bis G4 sowie Untergruppen wie G2K und G3K eingeteilt. Tabelle 1 gibt die zugehörnde charakteristische Makrostruktur, die Flächenausdehnung und das über das Isotopenverhältnis Sr-87/Sr-86 bestimmte geologische Alter. Danach sind die Fichtelgebirgsgranite 310 bis 285 Millionen Jahre "jung", wobei das Alter von G1 zu G2 stärker und von G2 über G3 zu G4 nur schwächer abnimmt. Der jüngste Zinngranit G4 enthält die meisten Schwermetallanreicherungen aus dem Restmagma.

Die P. Richter und G. Stettner (18) vereinfacht nachgezeichnete geologische Karte der Granitgebiete des Fichtelgebirges in Abb. 3 läßt den im inneren Hochplateau von Osten nach Westen auslaufenden Keil aus dem etwas älteren, frühvariskischen Granit G1 erkennen. Nördlich und südlich davon sind die jüngeren, spätvariskischen Granitplutone unter dem äußeren Mantel der Sedimentgesteine erstarrt. Das Luisenburg-Kösseine Massiv, die Hohe Mätze-Platte, das Waldstein-Epprechtsteingebirge sowie Kleiner und Großer Kornberg werden durch Randgranit G2 und Kerngranit G3 gebildet. Die Facies G3K an der Kösseine zeichnet sich durch ihre bemerkenswerte grau-blaue Farbe aus (Blue imperial granite). Granit G3, in geringerem Maße auch G2, bilden den Hauptteil des südlichen Schneebergmassives. Hier schließt sich jedoch am Ostrand (Zufurt- und Fuchsbaubrüche) und nach Norden hin zum Rudolfstein der Zinngranit G4 an. Zwischen Hoher Mätze und Platte ist der Randgranit G2 vom Zinngranit G4 geochemisch beeinflußt.

Die am Granitsaum angeschnittenen alten Sedimentgesteine aus dem Cambrium, Ordovicium und Gotlandium (Silur) sind vorwiegend Glimmerschiefer, Tonschiefer, Grauwacke, Hornblende, Quarzite sowie vereinzelt Marmor. An der metamorphen Grenzzone nordwestlich des Waldsteins in Richtung Sparneck werden Gesteine der Prasinit-Phyllitreihe, Amphibolite und Hornblendgneise angetroffen.

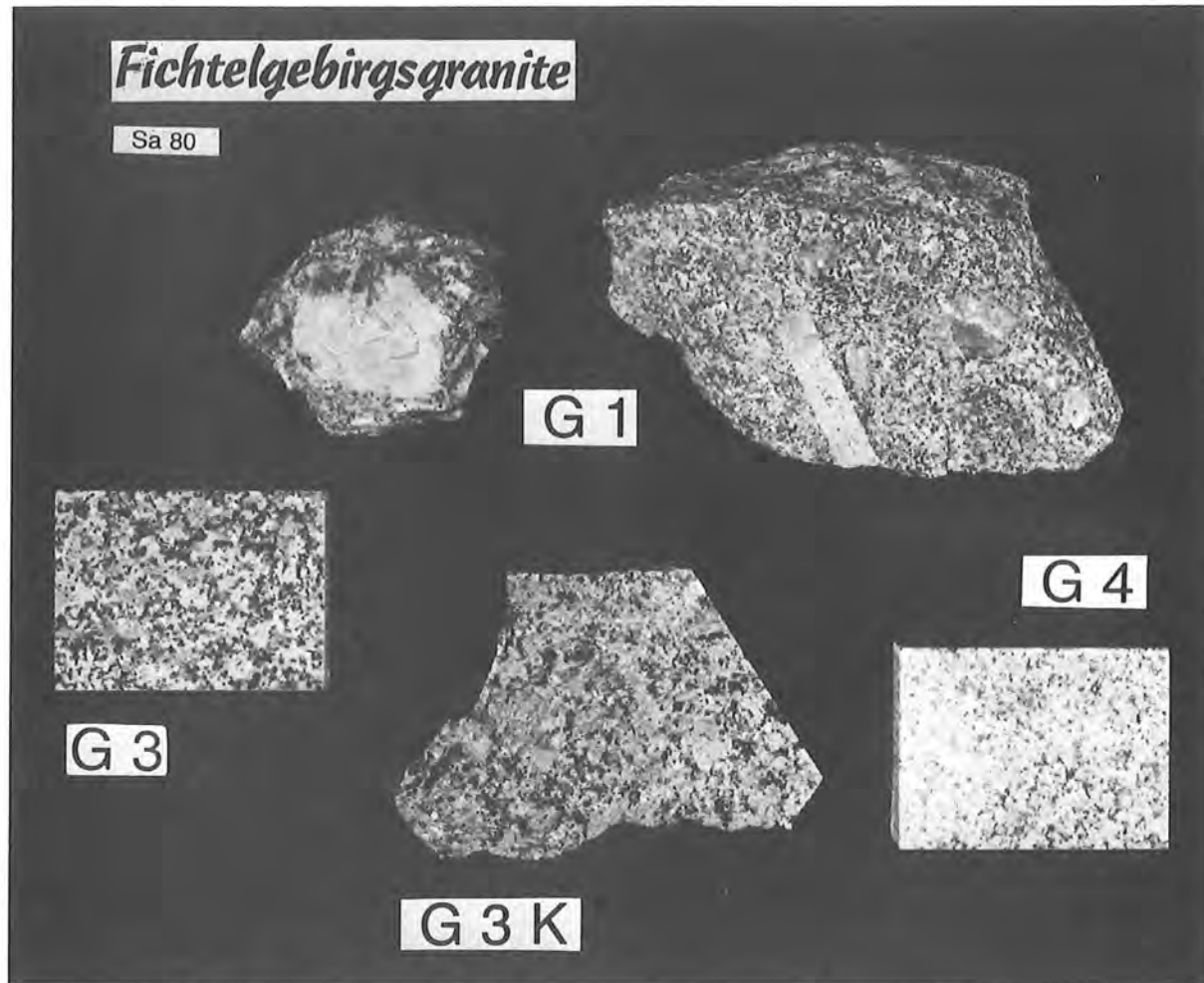


Abbildung 8: Die verschiedenen Granittypen G1 bis G4 des Fichtelgebirges

Type of Granite		Age (10 ⁶ years)	Structure	Area on surface (Km ²)
G1	Prophyric granite (a)	310 ± 14	medium granular/ prophyric	180
G2	Boundary Granite (b)	291 ± 7	finely to small grained/(porphyric)	53
G3	Core granite (b)	288 ± 4	medium to coarse grained	52
G3K	Kössine granite (b)	288	Coarse grained, blue	?
G4	Tin granite (b)	285 ± 6	medium grained	15
-	Secondary uranium mica minerals (c)	15	formed by surface leaching and precipitation	-

Tabelle 1: Klassifizierung der Fichtelgebirgsgranite nach G. Stettner und P. Richter (26, 18)

Im Fichtelgebirge ist der Hauptträger der natürlichen Radioaktivität das Uran, mit Abstand gefolgt von Thorium und Kalium. Granite und davon ausgehende sekundäre Lagerstätten sind ihrerseits die Hauptträger des Urans. Innerhalb der Granite steigt nach Abb. 9 und 10 der Urangehalt von $G1 < G2 < G3 < G4$ deutlich an, gleichzeitig nimmt der Thoriumgehalt ab. Am interessantesten sind in dieser Hinsicht der Zinngranit G4, gefolgt vom Kerngranit G3. Für die Ausbildung sekundärer Uranlagerstätten ist die Bruchtektonik der Granitschollen von maßgeblicher Bedeutung. Bruchflächen, Kamine oder Ruchelzonen bilden nicht nur Ansatzpunkte für die Verwitterung des Granitgesteines, sondern auch für die Ausbildung von Tapeten und Imprägnierungen aus sekundären radioaktiven Mineralen. Die Bruchzonen ermöglichen weiterhin einen raschen Transport sowohl von Auslauglösungen als auch von Radongasen innerhalb des zerklüfteten Granitmassives. Das Uran ist als zweiwertiges Kation UO_2^{2+} im Gegensatz zum Thorium Th^{4+} chemisch recht beweglich. Es bildet mit Karbonaten, aber auch organischen Liganden anionische Komplexe, die leicht löslich sind und im Wasser transportiert werden. Erst wenn sie im Boden auf Phosphate, Silikate oder höhere pH-Werte treffen, fallen sie als Uranglimmer, Uranophane oder andere sekundäre Uranmineralien aus und bilden die sekundäre Uranerzlagerstätte. Das derzeit wichtigste Beispiel hierfür sind die Uranerzlagerstätten bei Großschloppen, aber auch die älteren am Rudolfstein und im Fuchsbausteinbruch.

Als Ergebnis dieser geologischen Betrachtungen sind im Fichtelgebirge die höchsten Radioaktivitäten im allgemeinen im Granit G4, gefolgt von G3 zu erwarten. Sekundäre Uranlagerstätten, die durch Auswaschen und Transport aus den primären Lagerstätten entstanden sind, können sich an vielen anderen Stellen, auch außerhalb des Granites, abgelagert haben und sind dann schwer vorhersehbar. Ein Beispiel hierfür ist die erst spät und nur durch Zufall entdeckte Lagerstätte bei Großschloppen (25).

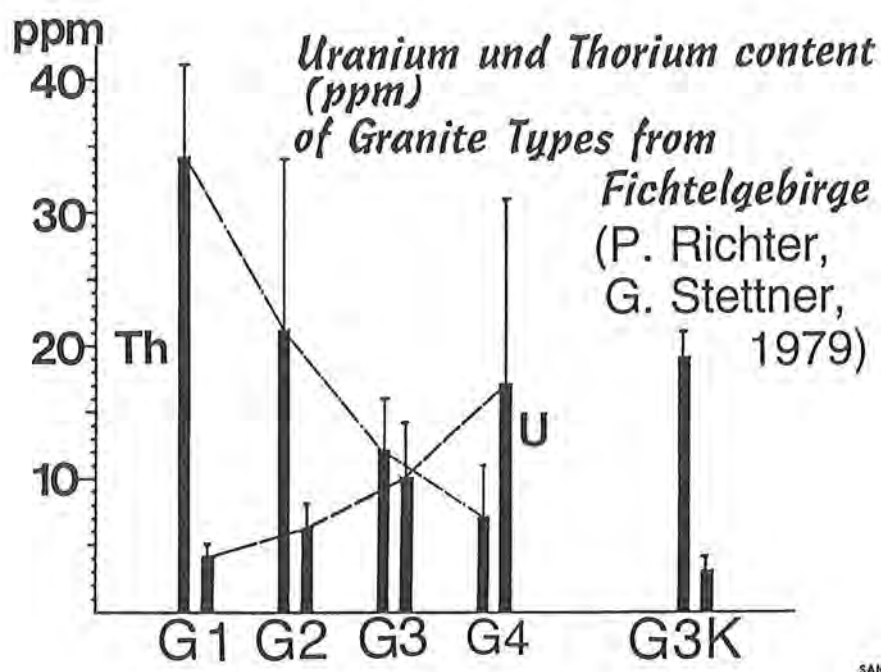
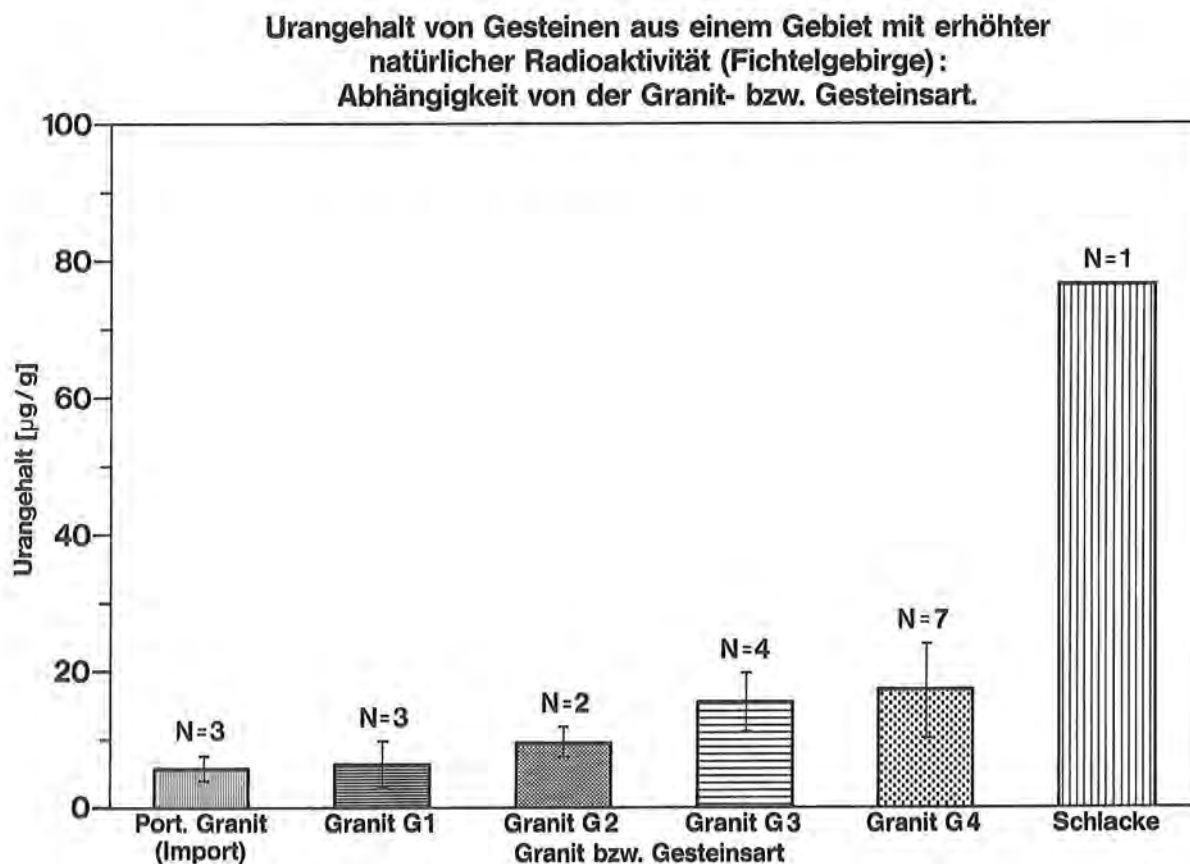


Abbildung 9: Uran- und Thoriumgehalte der Fichtelgebirgsgranite nach (18)



Mittelwerte und Streuung aus der Messung mit der Low-Level-Gamma-Spektrometrie, der Neutronenaktivierungsanalyse und der Messung verzögerter Neutronen.

Abbildung 10: Urangehalte von Fichtelgebirgsgraniten, eigene Analysen

Zusammenfassende Berichte über Radioaktivität und Uran im Fichtelgebirge haben, in chronologischer Reihenfolge, folgende Autoren veröffentlicht: A. Schmidt (23, 24), L.v. Ammon (2), H. Günther (8), F. Henrich (9, 10), H. Strunz (27), F. Kirchheimer (11, 12, 13). Die umfangreichste Zusammenstellung vom Standpunkt der Uranprospektion in Bayern bis 1974 geben H. Gudden, H. Schmid, J. Cardoso (7).

1.3 Aufgabenstellung

Ziel der 1975 privat begonnenen und ab 1981 als Forschungsprojekt durchgeführten Untersuchungen war es, zunächst

- a) durch Übersichtsmessungen der Gammadosisleistung einen Überblick über die natürliche Radioaktivität des Fichtelgebirges zu erhalten und dadurch
- b) örtlich begrenzte Gebiete mit möglichst hoher natürlicher Radioaktivität (Strahlungsanomalien, hot spots) zu finden und zu beschreiben.
- c) Die Bestimmung von Uran und gegebenenfalls Thorium in Gesteinen und Böden sollte anschließend die Strahlungsanomalien auf Uran- oder Thoriumanomalien zurückzuführen helfen.
- d) Die Analyse von Radon-222, Radium-226 und Uran in Trink- und Oberflächenwasser sollte die Abschätzung einer Strahlenbelastung auf dem Ingestions- und Inhalationspfad ergänzen und gleichzeitig der Prospektion weiterer Strahlungsanomalien dienen.
- e) Vorstehend gewonnene Daten sollen Ausgangspunkt für die Abschätzung möglicher Strahlenbelastungen begrenzter Personengruppen oder Einzelpersonen an oder auf den Strahlungsanomalien (hot spots) bilden.
- f) Das ergibt Ausgangsdaten für eine etwaige spätere Festlegung von zulässigen oberen Grenzwerten für natürliche Radioaktivität.
- g) Die natürliche Radioaktivität des Granitgebietes im Fichtelgebirge wird in einem bilateralen deutsch-indischen Forschungs-

projekt mit derjenigen der Monazitsandgebiete Indiens verglichen, für welche die bisher umfangreichsten epidemiologischen Untersuchungen vorliegen.

Dieser Plan fügt sich in die 1975 (5, 16) und 1981 (28) von den Symposien über natürliche Radioaktivität in Poços de Caldas bzw. Bombay an WHO, IAEA und FAO gegebenen Empfehlungen ein:

- 1) Förderung der Feststellung von radioaktiven Anomalien und den dadurch bedingten Strahlenbelastungen der bodenständigen Bevölkerung sowie Anregung von Vergleichsmessungen und zugehörigen Analysentechniken.
- 2) Systematische Messung der Strahlenbelastung des Menschen durch Thoron und Radon in Gebäuden.
- 3) Langzeitmessung der Lungenbelastung durch Radontöchter in rem pro Basalzellen des Bronchialepithels
- 4) Unterstützung von Entwicklungsländern bei der Feststellung des Ausmaßes der Bevölkerungsbelastung durch natürliche Radioaktivität.
- 5) Untersuchung aller öffentlichen Trinkwasserversorgungen aus Wasserträgern im Sandstein oder aus Granitzersatzgebieten (fractured granites) auf Ra-226. Bei Konzentrationen über 1 pCi Ra-226/l sollten auch Ra-228, Pb-210 und Po-210 gemessen werden.
- 6) Förderung von Untersuchungen über die Beeinflussung der Dosis aus externer Strahlung und Radon/Thoroninhalaten innerhalb von Gebäuden durch deren Baumaterial.
- 7) Fortsetzung der epidemiologischen Studien in Kerala und Brasilien. Eine Sicherung der negativen Befunde wäre vorteilhaft. Andererseits besteht auch die Möglichkeit, dort unerwartete Effekte zu beobachten.
- 8) Sammlung von Daten über das Ausmaß der Düngung von Ackerböden mit uranhaltigen Düngemitteln
- 9) Aufforderung von WHO und FAO an deren Mitgliedstaaten, öffentliche Wasserversorgungen aus Wasserträgern mit Kontakten zu Sandstein, Granitzersatz oder Schwarzschiefern zu identifizieren.

10) Es sollte untersucht werden, ob sich unter der bodenständigen Flora und Fauna in Gebieten mit radioaktiven Anomalien Strahlenresistenz entwickelt hat.

Die Aufgabenstellung a) bis g) liefert unmittelbar zu den Punkten 1), 5), 9) und mittelbar zu 4), 7), 10) Beiträge.

2. Experimentelles

2.1 Gammadosisleistung

Es wurde das 1970/71 von W. Kolb und U. Lauterbach von der PTB Braunschweig entwickelte hochempfindliche Gammadosisleistungsmeter, ab 1980 dessen neuere Version (Typ MAB 604, Münchener Apparatebau Kimmel) verwendet. Letztere hatte leider keine variierbare Dämpfung mehr, was für die Messungen im Gelände hinderlich ist. Das Gerät kann mit Batterie betrieben werden. Der Detektor besteht aus einem Plastiksintillator NE 102 (44 mm \varnothing , 15 mm hoch) der mit einer ZnS(Ag)-Schicht verbunden ist. Die elektrische Messung erfolgt über den Photomultiplier EMI 9635 QA. Im Energiebereich von 25 keV bis 1,3 MeV ist die Anzeige innerhalb von ± 10 % energieunabhängig und angenähert linear. Für die Untersuchungen wurden vor allem die untersten Dosisleistungsskalen von 0 bis 30 und 0 bis 100 $\mu\text{R/h}$ verwendet. Der Kalibrierungsfaktor wurde zu ± 20 % angegeben und betrug bei 100 $\mu\text{R/h}$ nach dem Eichzertifikat etwa -12 %. Seit 1981 wurde jeweils eine Rekalibrierung in der Abteilung für Strahlenschutz der KFA (H. Heinzelmann) durchgeführt. Die kontinuierliche Registrierung der gemessenen Dosisleistungen wurde seit 1980 durch den batteriebetriebenen Plotter Minigor 510 der Fa. Goerz Elektro vorgenommen. Das Gerät wurde als Y (T)-Plotter mit den Konstanten $X=4$ min/cm und $Y=10 \times 100$ mV/cm verwendet. Es ermöglicht eine graphische Mittelung der teilweise stark schwankenden Zeigerausschläge.

Vor Beginn der Messungen eines jeden Meßtages im Gelände wurde die Gammadosisleistung an zwei Meßpunkten bei konstanter Meßgeometrie gemessen. Die Schwankungen von Tag zu Tag und von Jahr zu Jahr (jeweils Juli/August) waren geringer als erwartet, am ersten Punkt betrugen sie 7 bis 9 $\mu\text{R/h}$; mit Ausnahme von 12 $\mu\text{R/h}$ im Jahre 1981 mit einem neuen, ungeeichten Detektor.

Zur Messung eines definierten kleinen Gebietes wurden willkürlich die wichtig erscheinenden Punkte mit dem Detektor in der Hand vermessen, auch unmittelbar aufliegend. Das erhaltene Datenkollektiv wurde mit den Rechenprogrammen ZCH-2 und ZCH-3/2 auf dem Rechner Tektronix 4051 mit 32 K byte statistisch nach (21) ausgewertet (R. Kurth). Es werden jeweils der Bereich und der Median angegeben. - Die Vermessung ist zwar relativ willkürlich, aber gleichartig erfolgt. Daher sind die Relativwerte untereinander während einer Meßkampagne durchaus vergleichbar, während die Richtigkeit der Absolutwerte begrenzt ist.

2.2 Uranbestimmung in Gesteinen und Böden

Die Bestimmung der Uranspuren erfolgte durch Low-Level-Gamma-spektrometrie mit Ge(Li)-Detektor, Aktivierungsanalyse mit Reaktorneutronen und epithermischen Neutronen, Neutronenaktivierung mit anschließender Messung der verzögerten Neutronen. Experimentelle Einzelheiten werden in einer folgenden Arbeit gesondert berichtet.

2.3 Uranspurenbestimmung in Wasser

Sie erfolgte mit dem Laserfluorimeter Uranium Analyzer-UA3 der Fa. Scintrex, Kanada. Die Nachweisgrenze betrug hier etwa 0,05, die Bestimmungsgrenze 0,1 ng U/ml (ppb). Die Richtigkeit war in den salzarmen Granitwässern bei Verwendung der Additionsmethode relativ gut. Einzelheiten werden später mitgeteilt.

2.4 Radon-222 und Radium-226 in Wasser

Beide wurden emanometrisch aus jeweils 40 ml Wasser bzw. Lösung in der Blasensäule und anschließend in der Lucaszelle durch

Szintillationsmessung mit einem ZnS(Ag)-Szintillator über einem Photomultiplier gemessen. Zur Radon-222-Bestimmung wurde die Wasserprobe unmittelbar vor Ort gezogen und am nächsten Tag im Feldlabor gemessen. Zur Bestimmung von Ra-226 wurden 10 oder 20 l Wasserproben im Gelände gesammelt und über Nacht im Feldlabor an einer Säule mit abgeschiedenem Braunstein angereichert. Die Braunsteinsäulen wurden später in der KFA mit Salzsäure gelöst und im Eluat Ra-226 emanometrisch, wie vorher Rn-222 bestimmt. Auch hier betrug die Nachweisgrenze 0,05 pCi Ra-226/l.

2.5 Physikalisch-chemische Daten

Die Wassertemperatur ($^{\circ}\text{C}$), elektrische Leitfähigkeit (μS), der Gehalt an gelöstem Sauerstoff ($\text{mg O}_2/\text{l}$) und der pH-Wert wurden mit der Combibox CB 570 (Fa. WTW) über deren Meßsonde unmittelbar im Quellwasser vor Ort bestimmt.

2.6 Chemische Elemente

Parallel zu den Radioaktivitätsuntersuchungen wurden von einer ausgewählten Anzahl Wasserproben Multielement-Übersichtsanalysen mit der Atomabsorptions-, ICP-Atomemissions- sowie ICP-Atomfluoreszenzspektrometrie ausgeführt.

Über die Ergebnisse von 2.3, 2.5 und 2.6 wird an anderen Stellen berichtet.

2.7 Organisation der Messungen. Vergleichsanalyse

Die Wassermessungen erfolgten jeweils zu Teilen a) vor Ort unmittelbar in der Quelle, b) im daneben stehenden Meßwagen, c) im Feldlabor in Tröstau (Birkenweg 7) und d) in Laboratorien der ZCH in der KFA in Jülich. Abb. 11 zeigt den als Meßwagen verwendeten VW Combi LT 28 mit der Ausrüstung des Feldlabors, Abb. 12 die Messung von Rn-222 im Feldlabor bzw. in d).



Abbildung 11: Meßwagen, Typ LT 28, mit den für die Radioaktivitätsmessungen verwendeten Geräten

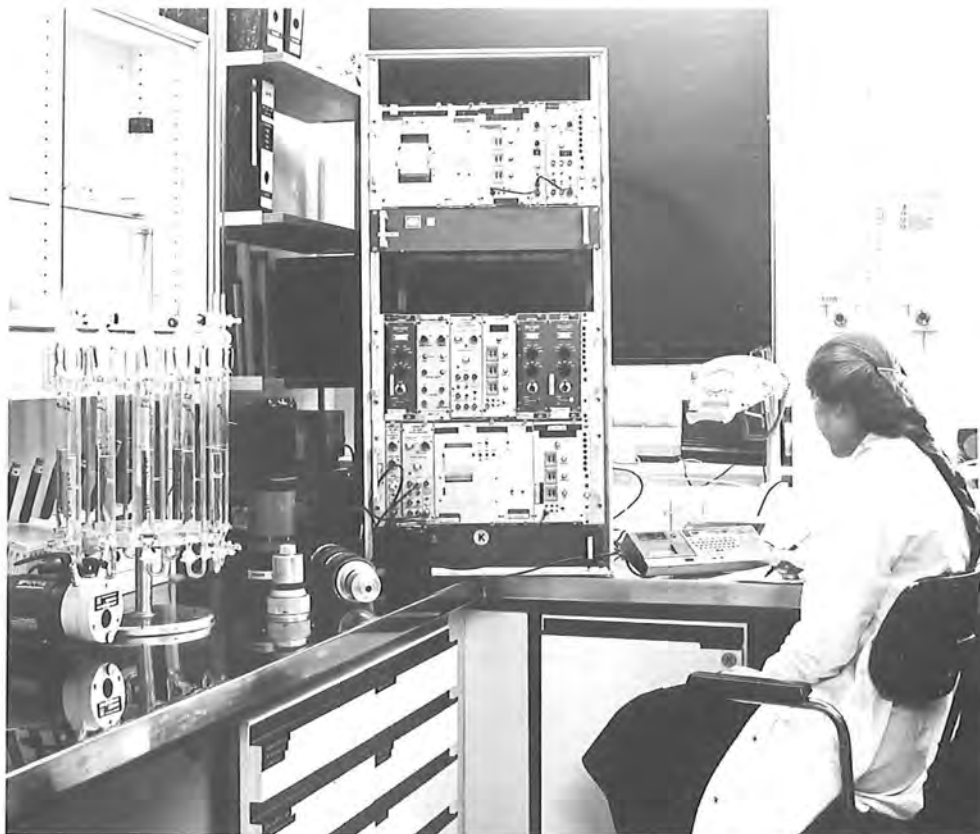


Abbildung 12: ZnS(Ag)-Szintillatormessplatz für Radon-222-Messungen

Nach a) wurden die physikalisch-chemischen Konstanten mit der Combibox, nach b) Uranspuren mit dem Laserfluorimeter, nach c) Radon-222-Messungen nach der ZnS(Ag)-Szintillationsmethode und Anreicherung von Radium-226 an Säulen aus Braunstein, der an Polyacrylnitrilfaserwolle (Fa. Bayer AG, Leverkusen) abgeschieden war, nach d) Radium-226-Bestimmungen in Wasser nach der ZnS(Ag)-Szintillationsmethode, Low-Level Gamma- und Alpha-spektrometrie, Multielementanalysen mit Neutronenaktivierungsanalyse, Röntgenfluoreszenzanalyse und Funkenmassenspektrometrie ausgeführt.

Abb. 13 zeigt das Ergebnis einer Vergleichsanalyse zur Bestimmung von Ra-226 in Wasser. Bei den niedrigen Konzentrationen streuten die eigenen Werte hier stärker, da nicht ausreichend Wartezeit zur Nachbildung des zu messenden Radon-222 zur Verfügung stand.

Vergleichsanalyse des Bundesgesundheitsamtes
(BGA/Wa Bo Lu, Dr. Gans) 1983 :

Sollwert : $x_{\text{soll}} = 5,85 \text{ pCi Ra-226/l}$; gefundener Mittelwert : \bar{x} ;
Standardabweichung : s ; Bereich $x_{\text{max}} - x_{\text{min}}$

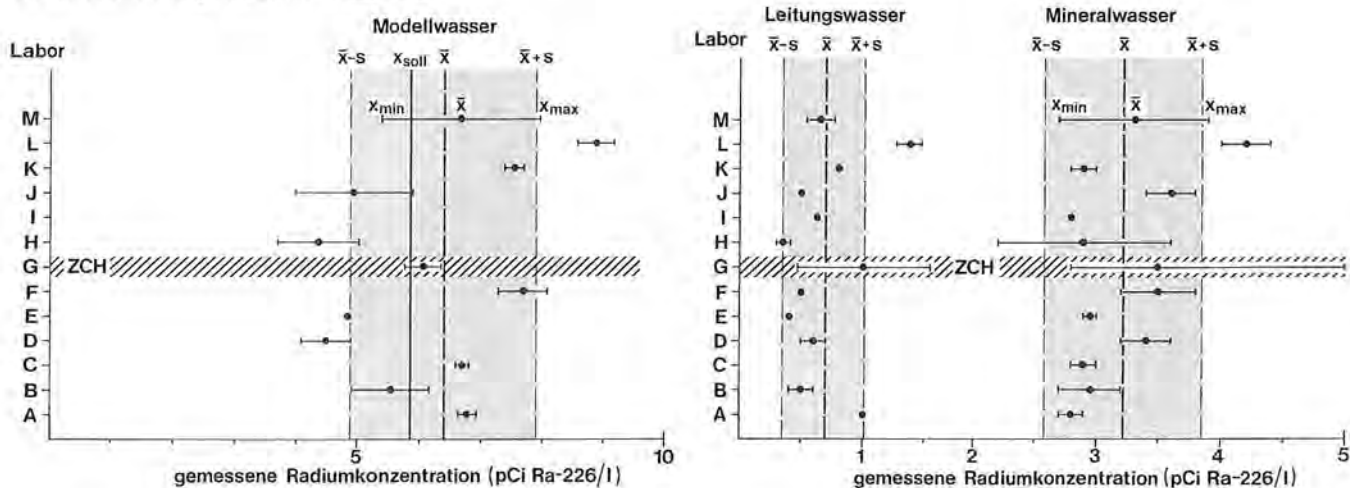


Abbildung 13: Vergleichsanalyse Radium-226 in Wasser, Bundesgesundheitsamt (Dr. Gans), 1983

3. Gammadosisleistung

Es werden Ergebnisse von Messungen der Gammadosisleistung auf Autostraßen, in Steinbrüchen, auf Berggipfeln, in Höhlen, Hochmooren und Städten behandelt. Die Daten für die gemessenen Punkte oder Gebiete werden als Häufigkeitsverteilung mit Angabe des Medians dargestellt. Die Angaben und Abbildungen sind (20) entnommen.

3.1 Autostraßen

Zunächst wurde die Gammadosisleistung im Personenkraftwagen während der Fahrt (carborne) auf Autostraßen gemessen.

Abbildung 14 zeigt die Gammadosisleistung im Kraftwagen während der Fahrt von Jülich quer durch die Bundesrepublik in das Fichtelgebirge. Als X-Achse ist der Kilometerstand des Tachometers, als Y-Achse die im Kraftfahrzeug gemessene Gammadosisleistung in $\mu\text{R/h}$ aufgetragen. Zu Beginn der Meßfahrt zeigte sich ein relativ hoher Wert von ca. $25 \mu\text{R/h}$. Er entspricht etwa 25 m Abstand vom 25 MeV-Atomreaktor DIDO in der Kernforschungsanlage Jülich. Die anschließende Fahrt durch Düren und auf Bundesstraßen ergab Gammadosisleistungswerte von etwa 5 bis $8 \mu\text{R/h}$ im Wagen. Die nächsten Anstiege auf 10 bis 15 stammen nicht etwa von weiteren Atomreaktoren, sondern vom Granitpflaster auf den Autobahnrastplätzen Frechen und Wirtshaus am Spessart sowie der Ortsdurchfahrt in Zeil. Beim Durchqueren des Granitgebietes des Fichtelgebirges zeigen sich dann teilweise leicht, jedoch auch nur wenig erhöhte Werte. Das Ergebnis der Durchquerung der Bundesrepublik waren Gammadosisleistungen (carborne) von 3 bis 15, Median nur $6 \mu\text{R/h}$. Die meisten Werte über 10 entsprechen einem Granitpflaster.

Im allgemeinen sind die Messungen im Kraftwagen auf asphaltierten oder betonierten Autostraßen recht unergiebig. Dies zeigt Abb. 15. Man sieht, daß man hier ziemlich unabhängig vom Standort in der Bundesrepublik, unerwarteterweise auch im Granitgebiet des Fichtelgebirges, immer ähnliche Werte von 4 bis 11 und

Strahlungsuntergrund im Querschnitt durch die Bundesrepublik von O nach W, auf Autobahnen und Bundesstraßen, 1979

Meßfahrt im PKW auf der Strecke Düren-Köln-Olpe-Siegen-Dillenburg-Spessart-Würzburg-Bamberg-Bayreuth-Bad Berneck-Fichtelgebirge.

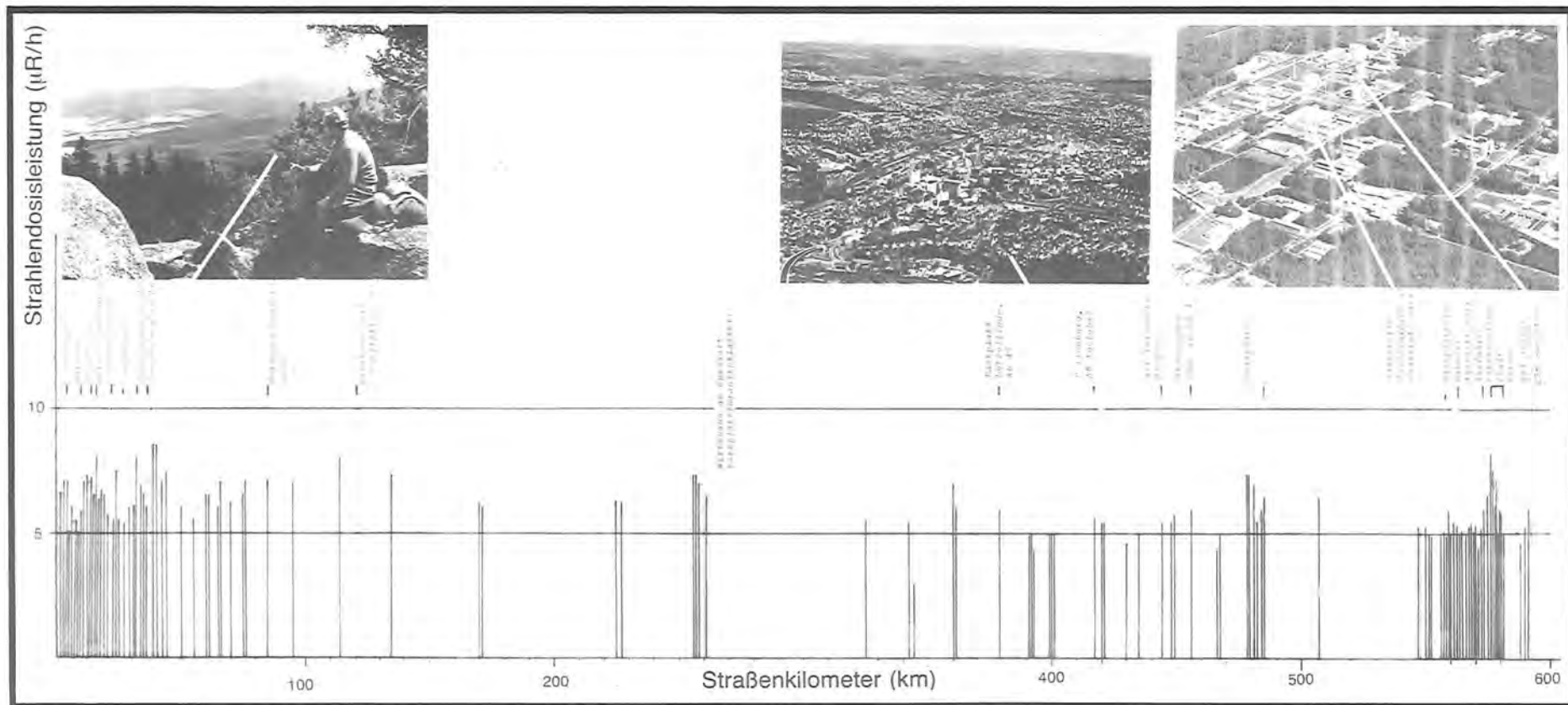
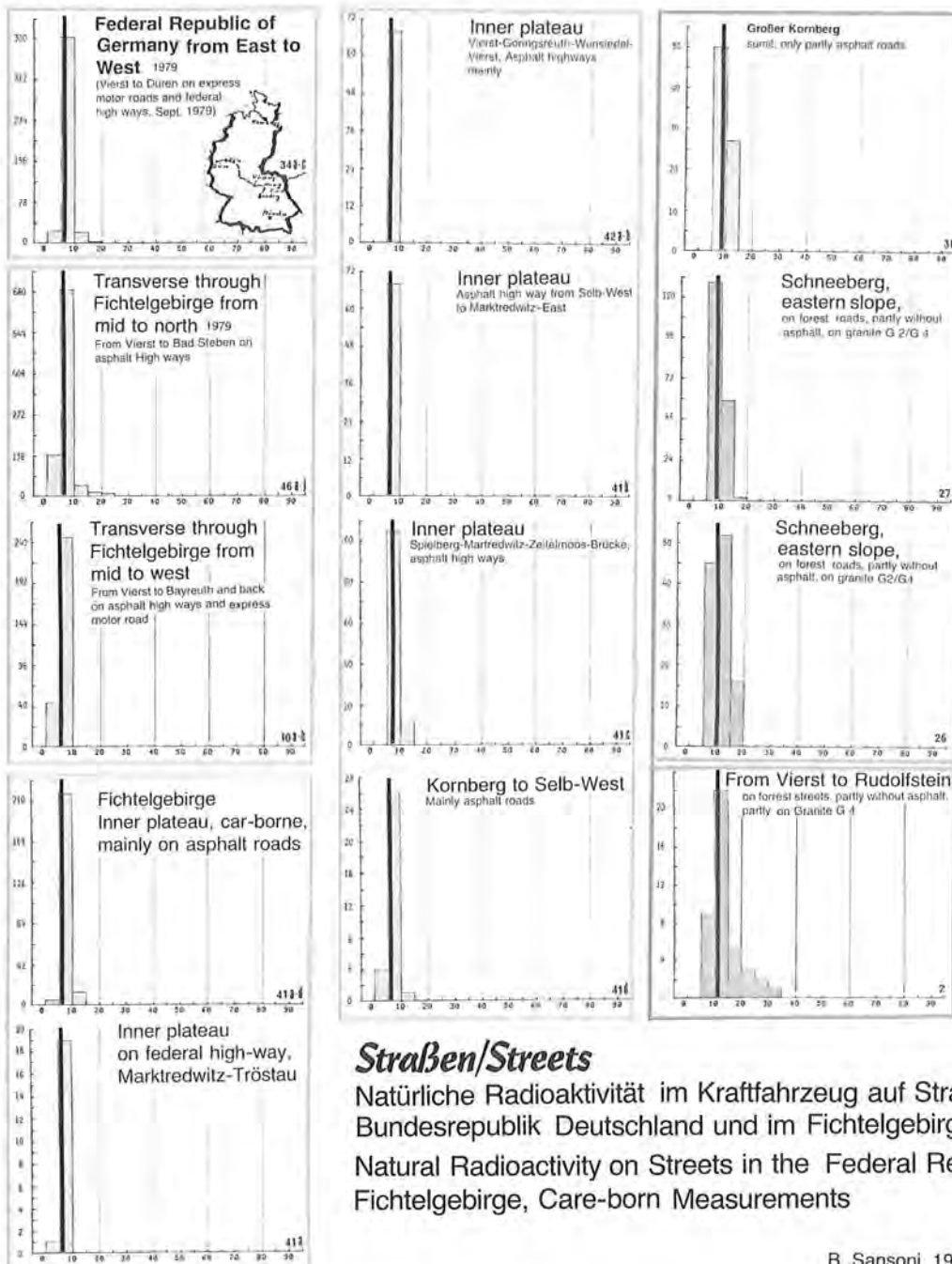


Abbildung 14: nach (20)

Mediane von 6 bis 7 $\mu\text{R/h}$ findet. Das hat seine Ursache darin, daß als Straßenunterbau fast nie der teure Granit verwendet wird. Die Straßenrollierung besteht aus Gesteinen mit wenig Eigenradioaktivität, das gleiche trifft für die Asphaltdecke zu. Daher wirkt der Straßenunterbau gegenüber der übrigen Umgebungsstrahlung als nivellierende Abschirmung. Lediglich bei den letzten drei Häufigkeitsverteilungen in Abb. 15 (rechts) kommen bei Medianen von 9; 10,2; 11 teilweise höhere Gammadosisleistungen von bis zu 16; 18; 30 $\mu\text{R/h}$ vor. Hier handelte es sich um wenig befestigte Forstwege im Schneeberg- und Rudolfsteingebiet über Granit G3 und G4.



B. Sansoni, 1975

Abbildung 15: nach (20)

3.2 Granitsteinbrüche

Die höchsten natürlichen Radioaktivitäten sind in den Granitsteinbrüchen zu erwarten. Sie sollten auch den Zusammenhang zwischen der Gammadosisleistung und Art des geologischen Granituntergrundes am besten erkennen lassen (Abb. 16). Die Mediane liegen zwischen 14 und 34 $\mu\text{R/h}$. Es zeigte sich jedoch, daß hier Mediane weniger charakteristisch sind als die Maximalwerte, die sich im allgemeinen bei der Messung in Kanten und Ecken am Boden des Steinbruchs infolge der günstigeren Meßgeometrie ergaben. Man sieht im großen und ganzen eine deutliche Zunahme der Gammadosisleistung in Steinbrüchen im Gebiet der Granite G3 und G4 gegenüber solchen im Granit G1 und G2. Die Mediane im Granit G3 und G4 lagen zwischen 24 und 34 $\mu\text{R/h}$. Die Maximalwerte stiegen deutlich an in der Reihe Granit G2K (24) zu G3K (28) zu G3 (40, 42, 44) zu G4 (45, 45 $\mu\text{R/h}$).

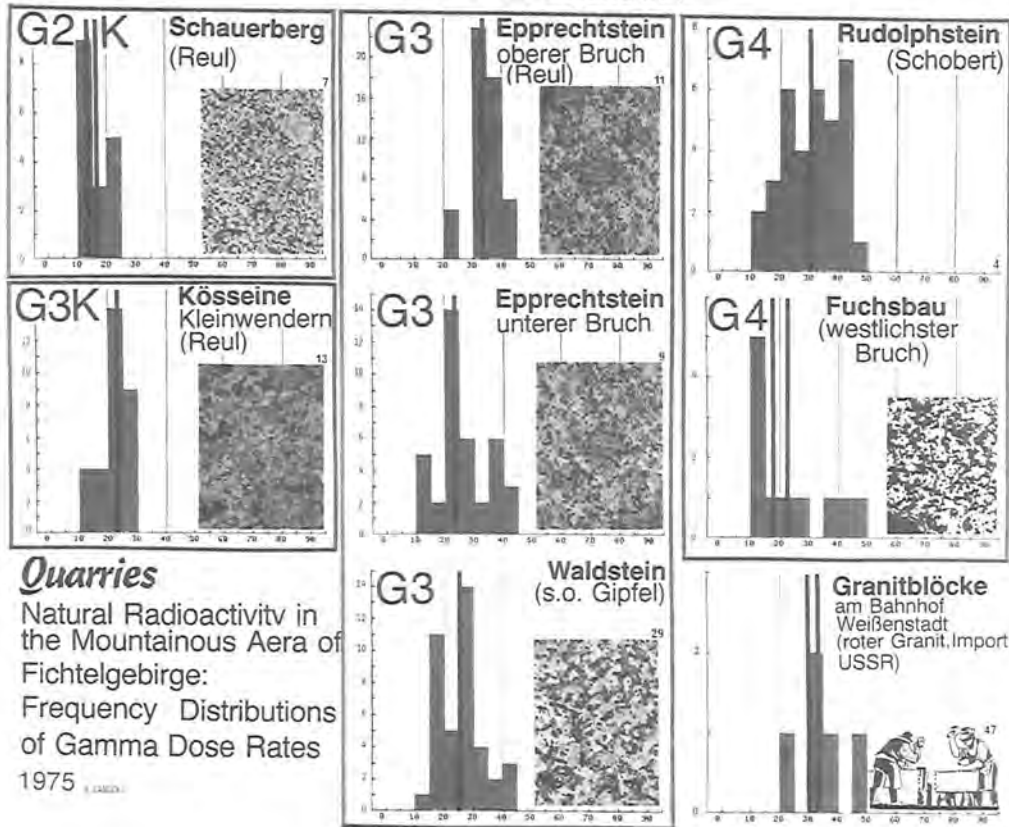
3.3 Berggipfel mit Touristenpunkten

Abb. 17 enthält die Häufigkeitsverteilung der gemessenen Gammadosisleistungen auf verschiedenen Berggipfeln mit touristischen Aussichtspunkten. Die Mediane für zwölf dieser von Touristen häufig begangenen Punkte lagen zwischen 14 und 25,5 $\mu\text{R/h}$. Die Art der Messung war hier dem Verhalten eines Touristen angepaßt, der entweder auf dem Granitboden spazieren geht, die Granitfelsen hinaufklettert oder auf ihnen sitzt und gelegentlich auch Nischen und Höhlen aufsucht.

Auch hier ergibt sich meist, mit wenigen Ausnahmen, eine deutliche Zunahme des Medians und insbesondere des Maximalwertes der Gammadosisleistung beim Übergang von Granit G2 auf G3 und G4, wie es vom geologischen Untergrund her zu erwarten ist.

Steinbrüche

Natürliche Radioaktivität im Fichtelgebirge: Häufigkeitsverteilung von Dosisleistungen (



Quarries

Natural Radioactivity in the Mountainous Area of Fichtelgebirge: Frequency Distributions of Gamma Dose Rates 1975

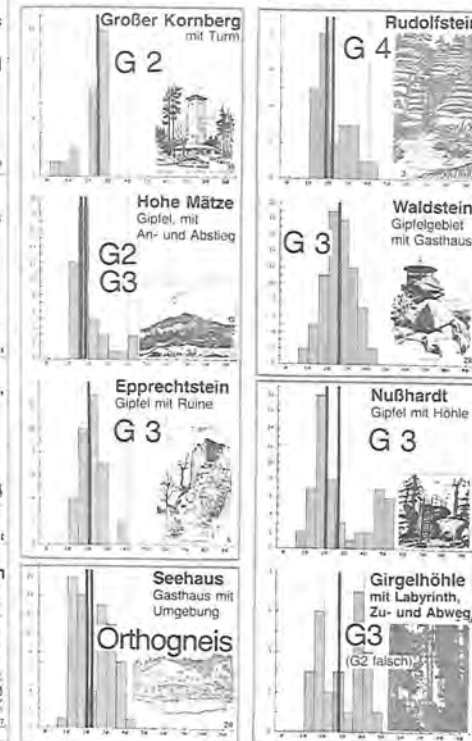
Abbildung 16: nach (20)



Berggipfel/ top of mountains

Natürliche Radioaktivität im Fichtelgebirge: Häufigkeitsverteilung von Dosisleistungen ($\mu R/h$)
Natural Radioactivity in the Mountainous Area of Fichtelgebirge: Frequency Distributions of Gamma Dose Rates.

Einfluß der Granitart/ Influence of Type of Granite



B. Sansoni, 1975

Abbildung 17: nach (20)

3.4 Granithöhlen

Den deutlichen Einfluß einer unterschiedlichen Meßgeometrie zeigen die in Granithöhlen gemessenen Gammadosisleistungen. Die Girgelhöhle (Abb. 6) zwischen Hohe Mätze und Silberhaus sowie die Nußhardtstube (Abb. 7) auf dem Nußhardtgipfel sind typische Höhlen in den Granitblockmeeren des Fichtelgebirges, die durch übereinanderstürzende Felsbrocken zustande gekommen sind. In beiden Fällen handelt es sich um Granit G3, bei der Nußhardtstube vielleicht um G3/G4. Tab. 2 gibt ein Beispiel für die Art der Messung der Gammadosisleistung in vorliegender Arbeit. In der Girgelhöhle lagen die gemessenen Gammadosisleistungen zwischen 34 und 46 (N=11), der Median betrug 40 $\mu\text{R/h}$. Für die Nußhardtstube betrugen die gleichen Werte 35 - 52 und 47 $\mu\text{R/h}$. Dies zeigt eine wesentlich höhere Gammadosisleistung auch gegenüber den entsprechenden Granitsteinbrüchen mit G3 oder G4. Sie ist auf die nahezu 4π -Geometrie der Granitumgebung in den Höhlen zurückzuführen.

A 2.2: Cave Girgelhöhle, Girgelstein (750 m a.s.l.) (Part of series 16 in table 2 c)

- 3.1 Felswand, außen, 25, 28
- Spalte, 2 m tief, 36, 38
(gleicher Fels, unterschiedliche Meßgeometrie)
- 3.2 Inneres
Mitte, hoher Teil, 36
Mitte, niedriger Teil, 40
Decke, am Gestein, 46
Hoher Teil, unten, 34, 36
Eck, innen, unten, 42, 44

$$\bar{x} = 39,7 \pm 4,5 \mu\text{R/h}$$

(range: 34-46 $\mu\text{R/h}$)
N = 11

A 2.1: Cave Nußhardtstube, Nußhardt (972 m. a.s.l.) (Part of series 21 in table 2 c)

- Eingang
Felswand vor Eingang, 45, 42, 35
- Nische, 48, 50
- Inneres
Rückwand des Innenraumes, 42
50 cm über dem Boden, Mitte, 50
Mitte des südlichen, überdachten
Teiles der Höhle, 46, 48
Westwand, Unterkante, 50, 52
Nordwand, Unterkante, 50, 52
Nördlicher, überdachter Höhlenraum Mitte, 48
Ausgang, Norden, Mitte, 46, 48

$$\bar{x} = 47,0 \pm 4,4 \mu\text{R/h}$$

(range: 35 - 52)
N = 16

Tabelle 2: Meßprotokoll von Einzelmessungen der Gammadosisleistung in der Girgelhöhle und Nußhardtstube (20)

3.5 Hochmoor

Das Zeitelmoos ist ein Hochmoor auf der Gneisplatte des inneren Plateaus des Fichtelgebirges. Die dicken Schichten aus stark huminstoffhaltigem, torfartigen Boden, die viel Wasser gebunden enthalten, wirken stark abschirmend. Nach Abb. 18 wurden Gammadosisleistungen von 4 - 21 $\mu\text{R/h}$ gemessen, die Mediane betrugen nur 7,6 - 9 (11) $\mu\text{R/h}$. Die maximalen Werte sind Waldpfaden auf gneisigem Untergrund zuzuordnen.

Abb. 19 zeigt die Verteilung der Gammadosisleistungen während eines Spazierganges in diesem Hochmoorgebiet des Zeitelmooses und vergleicht dies mit einem Rundgang zwischen den Granitfelsen auf den Berggipfeln. Man erkennt in dem Hochmoor eine sehr viel schwächere Gammadosisbelastung des Spaziergängers. Das feuchte Hochmoor wirkt gewissermaßen als eine Low-Level-Insel, als negative Strahlungsanomalie. Der Median des Spazierganges im Zeitelmoos betrug 7,8, derjenige auf den Berggipfeln mit Granitfelsen 14,2 $\mu\text{R/h}$.

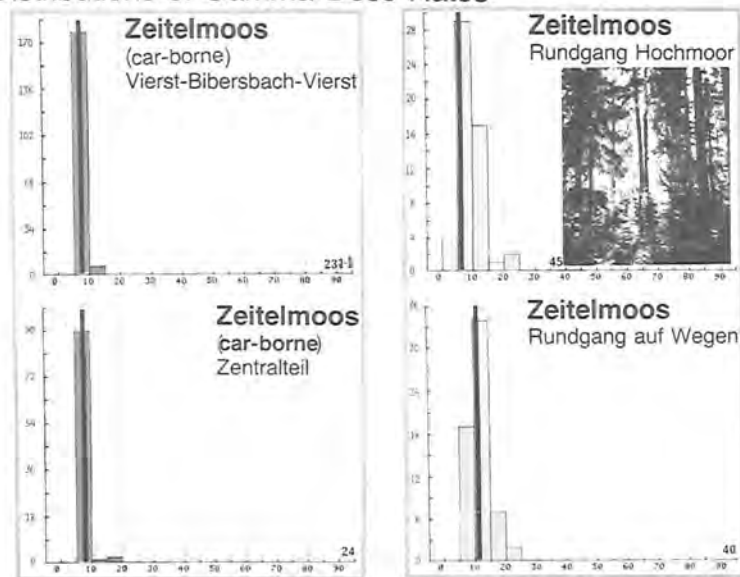
3.6 Städte

Naturgemäß ist die Messung der Gammadosisleistung vor allem in einer Stadt, außerhalb der Häuser, mit ziemlicher Willkür behaftet. Hier ist jedoch wieder darauf hinzuweisen, daß die Art der Messung in den drei Orten der Abb. 20 gleichartig war und die Ergebnisse daher relativ vergleichbar sind. Hier soll nur die letzte Spalte mit den out-car Messungen in Wunsiedel, Weißenstadt und Marktredwitz, den drei Hauptorten des inneren Plateaus, behandelt werden.

Weißenstadt und Wunsiedel zeigen eine angenäherte Gaußsche Normalverteilung der Gammadosisleistungen mit Medianen von 17 $\mu\text{R/h}$ für Wunsiedel (Bereich 6 - 38 $\mu\text{R/h}$), von 18 $\mu\text{R/h}$ für Weißenstadt (6,3 - 30 $\mu\text{R/h}$). Überraschenderweise ergab Marktredwitz im Jahre 1975 eine ausgesprochen zwei- oder sogar dreigipfelige Verteilung der Gammadosisleistung. Die Werte lagen hier zwischen etwa 7 und 67,5 (!), der Median betrug 19,5 $\mu\text{R/h}$.

Zeitmoos/ Fen Country Area

Natürliche Radioaktivität im Fichtelgebirge: Häufigkeitsverteilung von Dosisleistungen ($\mu\text{R/h}$)
Frequency Distributions of Gamma Dose Rates



B. Sansoni, 1975

Abbildung 18: nach (20)

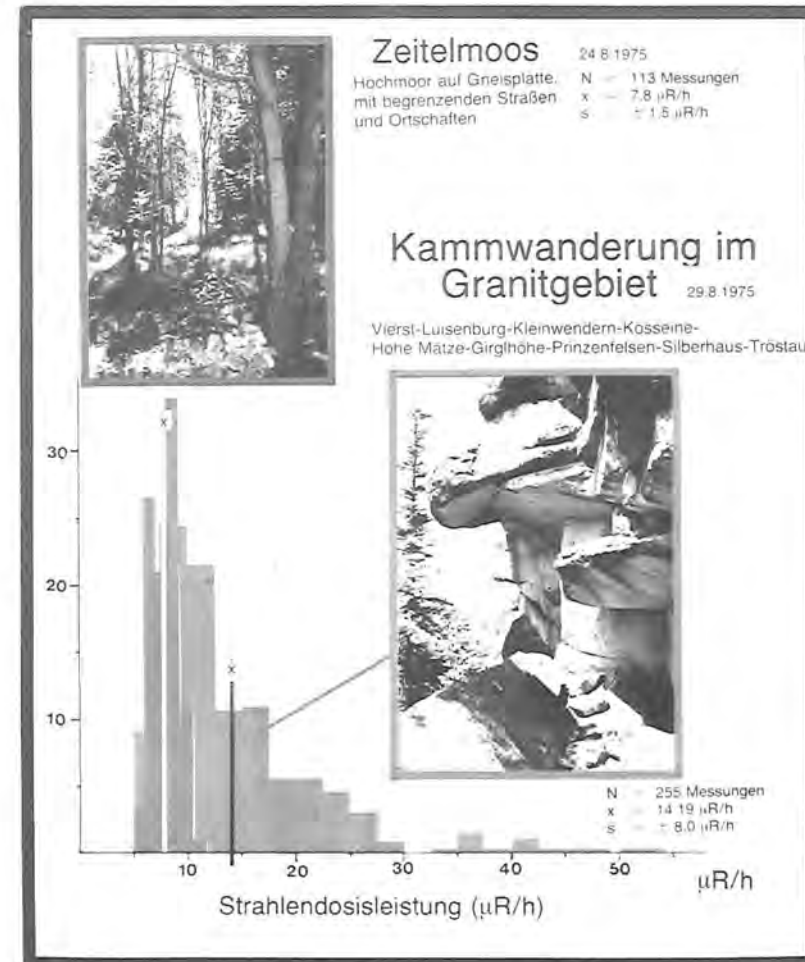
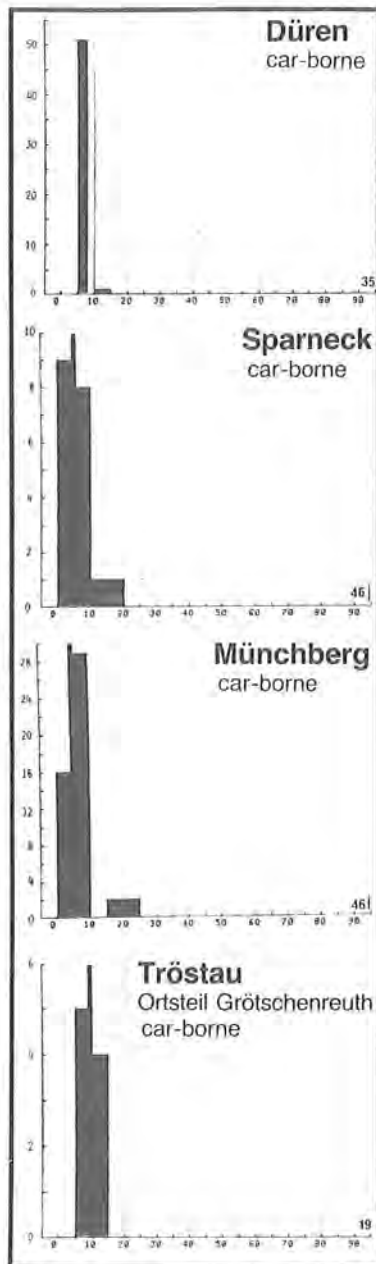


Abbildung 19:

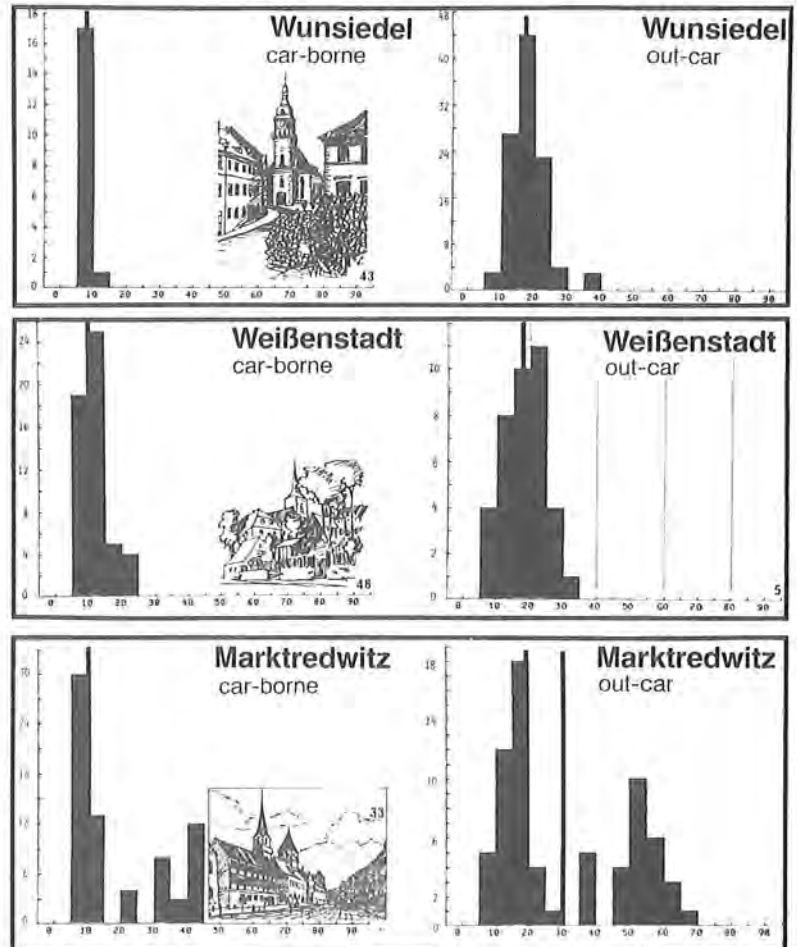
Unterschiedlicher Strahlungs-
untergrund zweier Wandergebiete
im Fichtelgebirge mit verschie-
denem geologischen Untergrund
(1975). Nach (20)



Städte und Ortschaften/Towns

Natürliche Radioaktivität im Fichtelgebirge:
Häufigkeitsverteilung von Dosisleistungen ($\mu\text{R/h}$)

Natural Radioactivity in the Mountainous Area of
Fichtelgebirge: Frequency Distributions of Gamma
Dose Rates (Partly car-borne measurements).



B. Sansoni, 1975

Abbildung 20: Gammadosisleistung in Städten und Ortschaften des
Fichtelgebirges (1975)

Häufigkeitsverteilungen, Gammadosisleistung in $\mu\text{R/h}$. Rechte
Spalte: Außenmessungen im Freien. Die beiden ersten Spalten:
carborne-Messungen im Kraftwagen, unkorrigiert.

Betrachten wir zunächst in Abb. 21 Wunsiedel. Sieht man von den drei Ausreißern zwischen 34 - 40 ab, so liegt hier scheinbar eine gut angenäherte Gaußsche Normalverteilung mit einem Median von 17,0 und einem arithmetischen Mittel von 17,4 $\mu\text{R/h}$ vor. Es ist jedoch zu beachten, daß es sich bei den Einzelwerten links von dem Median um besonders schwach radioaktive Stoffe wie Marmor, Asphalt, Ziegelsteine usw., bei den Werten oberhalb des Medians jedoch um Baustoffe wie Straßenpflaster, Gehsteigeinfassungen, Fensterrahmen, Treppen, Brunnenwände usw. aus Granit handelt. Statistisch gesehen sollte man diese beiden unterschiedlichen Gruppen von Materialien eigentlich nicht als ein, sondern als zwei getrennte Datenkollektive behandeln.

Wesentlich deutlicher wird dies noch bei der Betrachtung der Verteilung der Gammadosisleistungen in der Stadt Marktredwitz nach Abb. 22. Hier haben wir eine deutlich zwei- oder sogar dreigipfelige Verteilung vor uns. Der erste, linke Gipfel mit einem Median von 15,3 $\mu\text{R/h}$ entspricht etwa der Verteilung in der Stadt Wunsiedel in Abb. 21. Der zweite Gipfel zwischen 35 und 40 $\mu\text{R/h}$ entspricht den drei Ausreißern von Wunsiedel, die einer relativ stark radioaktiven Granitvariante mit intensiver Meßgeometrie zuzuordnen waren. Besonders überraschend ist jedoch der dritte Gipfel zwischen etwa 45 und 67,5 mit dem Median von 53,0 $\mu\text{R/h}$. Er fällt ganz aus dem Rahmen. Es handelt sich hier um die höchsten von uns 1975 im Fichtelgebirge gemessenen Strahlungsanomalien überhaupt. Wir hätten sie im Granitgebiet G4 und keineswegs im Zentrum der Stadt Marktredwitz vermutet.

3.7 Schlackensteinpflaster

Die Erklärung ist jedoch relativ einfach. Die Ursache der im Jahre 1975 auf dem Marktplatz, auf der Hauptstraße sowie auf Teilen der Bahnhofs- und Kraußboldstraße der Stadt Marktredwitz gemessenen hohen Gammadosisleistungen war ein Straßenpflaster aus Schlackensteinen. Ein alter Einwohner bezeichnete die

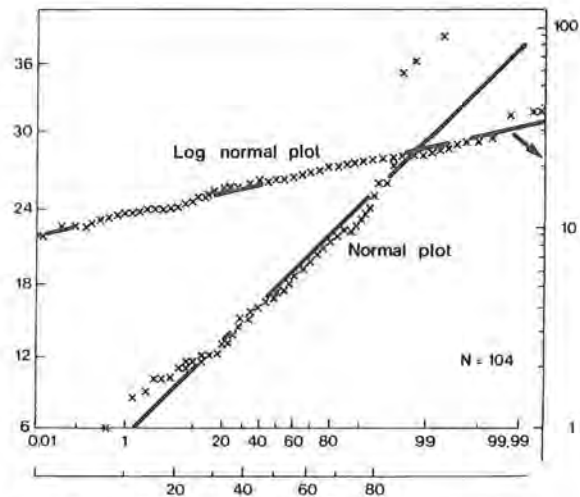
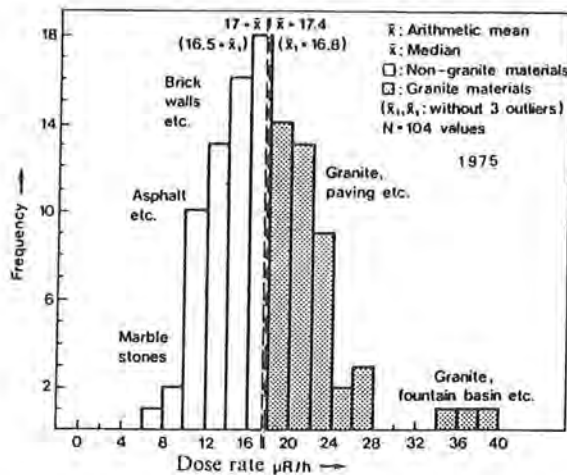


Abbildung 21: Häufigkeitsverteilung der Gammadosisleistung in der Stadt Wunsiedel, Außenmessungen 1975 (21)
Rechts: Prüfung auf Gaußsche Normalverteilung positiv

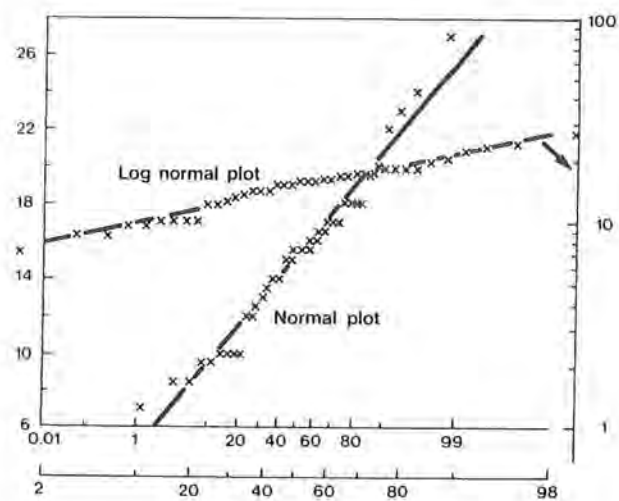
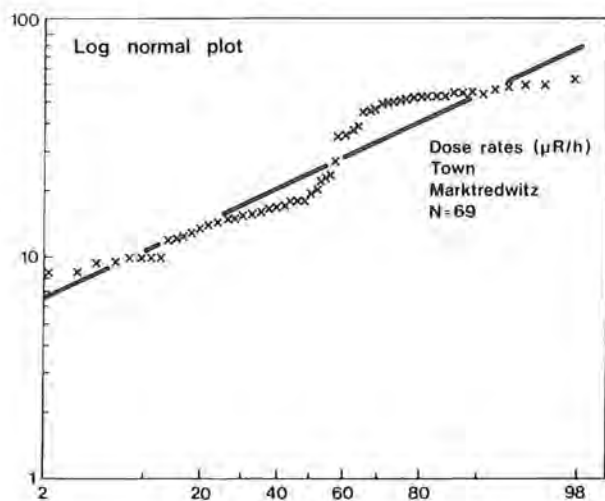
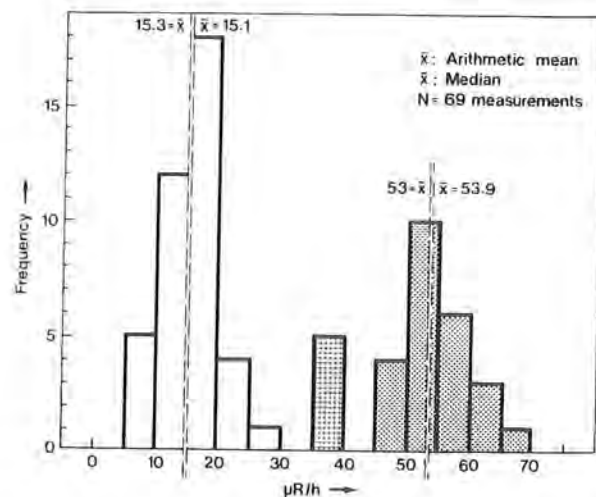
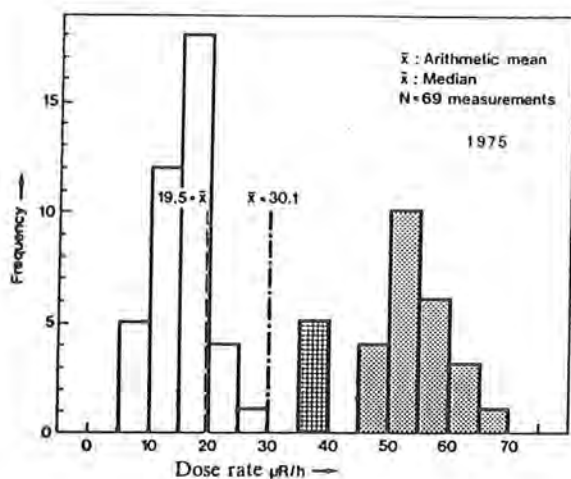


Abbildung 22: Häufigkeitsverteilung der Gammadosisleistung in der Stadt Marktredwitz, Außenmessungen 1975 (21)
Dreigipfelige Verteilung in linker Hälfte als 1 Datenkollektiv, in rechter Hälfte als 2 getrennte Verteilungen behandelt

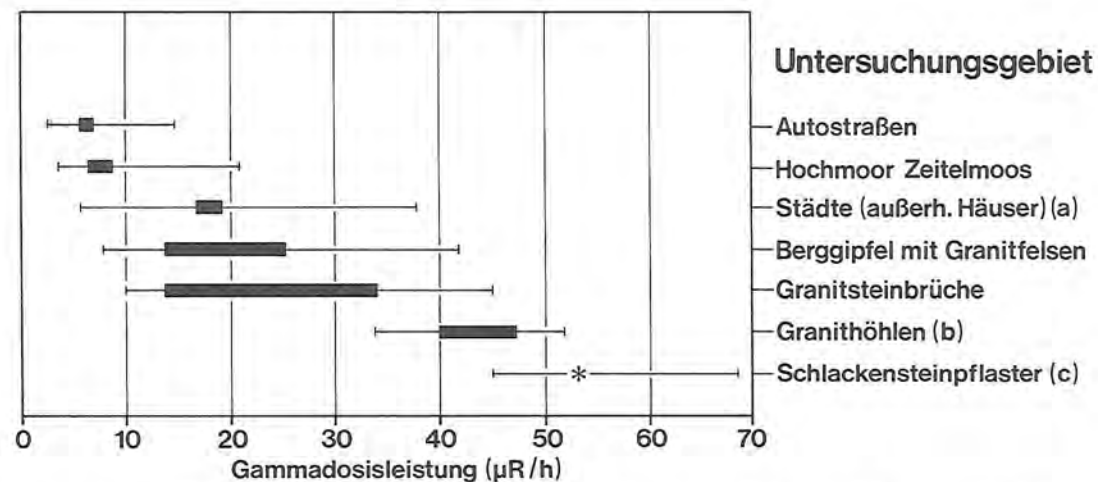
Steine als "Kupferschlacke". Vermutlich handelt es sich daher um Schlackensteine aus der mansfeldischen Kupfererzverhüttung. Während der Verhüttung gelangt Uran als Begleiter des Kupfererzes in die Silikatschicht der Schlacke, die im geschmolzenen Zustand in Formen gegossen und zur Herstellung dieser Schlackensteine verwendet wird. Eine anschließende Uranbestimmung ergab relativ hohe Werte von bis zu 100 ppm Uran, entsprechend 100 g pro Tonne. Nach einer rohen Überschlagsrechnung entspricht dies einer Größenordnung von 100 kg Uran im Straßenpflaster.

Dieser hohe Wert braucht nicht zu verwundern, da bei den schweren Gesteinen im allgemeinen wegen des hohen Gesamtgewichtes bereits Spurengehalte im ppm-Bereich rasch hohe Absolutmengen ergeben.

In der Zwischenzeit wurde 1979/80 der Marktplatz und die Hauptstraße zu einer Fußgängerzone umgestaltet und dabei der Hauptanteil des Schlackensteinpflasters entfernt. Einzelne Schlackensteine sind heute nach Abb. 23 nur noch als Einfassung von Rechtecken aus Granitpflaster vorhanden. Man kann hier jedoch bei unmittelbarer Auflage des Detektors auf ein solches aus drei Schlackensteinreihen bestehendes Band noch deutlich erhöhte Gammadosisleistungen messen. Über das Gesamtgebiet gemittelt, ist die Gammadosisleistung jedoch jetzt auf normale Granitwerte gesunken.

3.8 Hohe Strahlungsanomalien

Abb. 24 faßt die vorstehend beschriebenen Messungen der Gammadosisleistungen der verschiedenen Umweltbereiche zusammen. Es sind darin die Bereiche der Mediane als dicke Balken, als dünn ausgezogene Linien Bereiche der Einzelwerte ($X_{\max} - X_{\min}$) der Gammadosisleistungen angegeben. Demnach nimmt die Gammadosisleistung und damit der natürliche Strahlenuntergrund zu in der Reihenfolge Autostraßen, Hochmoor, Städte außerhalb der Häuser, Berggipfel mit Granitfelsen, Granitsteinbrüche, Granithöhlen, Schlackensteinpflaster.



Gammadosisleistung (µR/h) in einem Gebiet mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (Fichtelgebirge)

Meßgerät: MAB 604 (Münchener Apparatebau)

Dünne Linien: Bereich ($x_{\max} - x_{\min}$); Balken: Bereich der Mediane; Stern: Median

a) nur Weißenstadt und Wunsiedel; b) Nußhartstube und Girkelhöhle

c) Marktplatz und Hauptstraße in Marktrechwitz (1975), vor dem Umbau

Abbildung 24

Abbildung 23: Schlackensteineinfassung von Granitpflaster, Reste des alten Schlackensteinpflasters. Marktplatz von Marktrechwitz 1985

Insgesamt ergaben die 1975 bis 81 aufgefundenen höchsten Strahlungsanomalien folgende Bereiche und (Mediane) der Gammadosisleistung:

- a) Granitstraßenpflaster, Marktplatz Wunsiedel (1975) 10 - 38 (25) $\mu\text{R/h}$,
- b) Granitsteinbrüche 10 - 45 (14 - 34) $\mu\text{R/h}$
- c) Höhlen unter Granitblöcken 25 - 52 (40; 47) $\mu\text{R/h}$;
- d) Schlackensteinpflaster, Marktredwitz (1975) 38 - 68 (53) $\mu\text{R/h}$
- e) Strahlungsanomalie auf dem frisch gepflügten Acker eines Bauern im inneren Plateau. Auf dem Erdboden Spitzenwerte von 80 bis 100 $\mu\text{R/h}$, in einem Loch von 60 cm Tiefe jedoch bereits ~ 1500 $\mu\text{R/h}$. Der Ackerboden enthielt bis zu 0,3 % Uran. Man könnte diesen Boden daher als Uranerzlagerstätte bezeichnen, wenn die Gesamtmenge an Uran höher und abbauwürdig wäre.
- f) In einem Uranprospektionsstollen ergab ein Erzgang mit Tape-ten von Uranglimmern über 100 $\mu\text{R/h}$, während im umgebenden Granit G1 bei der Meßgeometrie des Stollens nur ca. 30 $\mu\text{R/h}$ gemessen wurden.

3.9 Mittelwerte für das Untersuchungsgebiet

Die vorstehend beschriebenen Gammadosisleistungsmessungen im Fichtelgebirge ergaben ohne e) und f) aus 2.9 für 1224 Einzelwerte ein arithmetisches Mittel von 21,1 und einen Median von 18,0 $\mu\text{R/h}$. Dabei handelte es sich um Außenmessungen außerhalb des Kraftwagens. Die Verteilung läßt sich einer logarithmischen Normalverteilung wesentlich besser annähern als einer Gauß'schen.

Die in der zweiten Hälfte der siebziger Jahre vom Bundesgesundheitsamt (H. Schmier u.a.) im Auftrage des Bundesministers des Inneren im Rahmen der Erhebungsmessungen von Radon in Häusern im Fichtelgebirge durchgeführten Gammadosisleistungsmessungen im Freien (Abb. 1) (15), ergaben für 87 Einzelmessungen im Landkreis Wunsiedel ein arithmetisches Mittel von 13,8 $\mu\text{R/h}$ (pers. Mitteilung von H. Schmier, 1980).

Der Unterschied zwischen 21,1 und 13,8 $\mu\text{R/h}$ erklärt sich durch die ganz andere Zielsetzung der Untersuchungen. Bei den Erhebungsmessungen sollte die mittlere Strahlenbelastung der Gesamtbevölkerung des Landkreises ermittelt werden. Daher wurde hier an Punkten gemessen, wo sich der Großteil der Bevölkerung aufhielt. Unsere Messungen hatten im Gegensatz dazu die Auffindung möglichst hoher Strahlungsanomalien zum Ziele, zunächst unabhängig davon, ob dort Personen wohnen oder nicht. Unsere Mittelwerte stellen in diesem Sinne die obere mögliche, tatsächlich von der Bevölkerung im Durchschnitt aber keinesfalls erreichte Dosisbelastung dar.

Zum Vergleich sei noch angeführt, daß die Gammadosisleistung im Mittel des Jahres 1975 am Zaun der Kernforschungsanlage Jülich 7,8 bis 8,3 $\mu\text{R/h}$ betrug. In Büroräumen der ZCH, im Zentrum der Kernforschungsanlage und nur wenige hundert Meter von drei 10,25 und 40 MW Atomreaktoren entfernt, sind es 6 bis 7 $\mu\text{R/h}$.

3.10 Strahlenbelastung auf den Strahlungsanomalien

3.10.1 Maximal mögliche Strahlenbelastung

Die gefundenen Strahlungsanomalien mit den höchsten Gammadosisleistungen sind nicht der Lebensraum der Gesamtbevölkerung des Fichtelgebirges. Im allgemeinen halten sich dort, wenn überhaupt, nur Einzelpersonen oder Gruppen auf und diese oft nur zu einem kleinen Bruchteil des Jahres. Da es in dieser Arbeit darauf ankam, auch die höchsten theoretisch denkbaren Belastungen, auch von Einzelpersonen im Freien abzuschätzen, gehen die folgenden Überschlagsberechnungen von der unrealistischen Annahme aus, daß sich eine Person auf den Strahlungsanomalien während des ganzen Jahres ständig, also 24 Stunden pro Tag, aufhält.

Unter der vereinfachenden Näherung eines Qualitätsfaktors $Q = 1$ sowie $1 \text{ R} \approx 1 \text{ rad} \approx 1 \text{ rem}$ errechnen sich aus den gemessenen Ionendosisleistungen in Luft die in Tabelle 3 angegebenen Äquivalentdosisleistungen in Sv/a und mrem/a.

Daraus ergeben sich folgende geschätzten Äquivalentdosisleistungen als Mediane: Granitpflaster Wunsiedel 219 mrem/a, Summe aller untersuchten Granitbaumaterialien in Wunsiedel 193, Granitsteinbruch auf dem Epprechtstein 299, Girkelhöhle 348, Nußhardtstube 412, Schlackensteinpflaster in der Hauptstraße und auf dem Marktplatz von Marktrechwitz 470 mrem/a.

Die tatsächlich von Personen erreichte Strahlungsbelastung beträgt nur einen Bruchteil davon und ist dementsprechend unbedenklich. Außerdem sei daran erinnert, daß beim Neubau der Fußgängerzone in Marktrechwitz im Jahre 1979/80 der größte Teil der Schlackensteine entfernt wurde (Abb. 23).

In Mitteilung (20) wird ausführlich auf diese Problematik sowie auf Konsequenzen für die mögliche Festlegung von Toleranzgrenzwerten für natürliche Radioaktivität eingegangen.

3.10.2 Gesundheitszustand der Bevölkerung

Trotz des im allgemeinen deutlich erhöhten natürlichen Strahlungsuntergrundes macht die Bevölkerung des Fichtelgebirges einen durchaus robusten und recht gesunden Eindruck. Eingehende epidemiologische Untersuchungen liegen allerdings noch nicht vor. Jedoch gibt der 1984 erschienene Krebsatlas der Bundesrepublik Deutschland (N. Becker, R. Frentzel-Beyme, G. Wagner, 2. Aufl.) Hinweise. Danach liegt im Landkreis Wunsiedel im Fichtelgebirge die allgemeine Krebsrate für Männer nur leicht über, bei Frauen sogar leicht unter dem Bundesdurchschnitt: Lungenkrebs für Männer durchschnittlich (trotz der stark Silikatstaub entwickelnden Naturstein- und Porzellanindustrie), für Frauen

Nr.	Strahlungsanomalie	Anzahl Meß- werte N	Gemessene Ionendosisleistung an Luft ($\mu\text{R/h} \approx \text{rad/h}$)				Geschätzte Äquivalentdosisleistung (mrem/a)			
			\bar{x}	x_{\min}	x_{\max}	s	\bar{y}	y_{\min}	y_{\max}	s
1	<u>Granitbaumaterialien</u>									
	1. Straßenpflaster Wunsiedel	20	25,0	10	38	± 10	219	88	333	± 88
	2. Straßenpflaster Marktredwitz	9	16,2	15	18	± 1	142	131	158	± 9
	3. Häuser Wunsiedel, außen	16	23,7	18	27	± 8	208	158	237	± 70
	4. Brunneneinfassungen	11	22,7	15	24	$\pm 7,5$	199	131	210	± 66
	5. Summe von 1,3,4	47				193	88	333	+ 63	
2	<u>Granitsteinbruch</u> Epprechtstein (Fa. Reul)	51	34,1	20	42	$\pm 4,5$	299	175	368	± 39
3	<u>Granithöhlen</u>									
	1. Nußhardtstube	16	47,0	35	52	$\pm 4,4$	412	307	456	± 39
	2. Gírgelhöhle	11	39,7	34	46	$\pm 4,5$	348	298	403	± 39
4	<u>Schlackensteinpflaster</u> in Marktredwitz, 1975									
	1. Hauptstraße und Marktplatz	15	53,7	38	67,5	$\pm 8,4$	470	333	591	± 74
	2. Bahnhof-, Kraussoldstr. (bis Kreisverkehr)	14	51,6	48	64	$\pm 8,4$	452	420	561	± 74
	3. Klingerstraße (von Kreis- verkehr bis Ende Stadtpark)	6	40,0	34	50	$\pm 4,7$	350	298	438	± 41
5	10 cm ³ Torbernitkristalle (fast punktförmig) auf Holz- boden (Fichtelgebirgsmuseum)									
	Abstand 100 cm		16,2				142			
	20 cm		50				438			
	10 cm		100				876			

Tabelle 3: Äquivalentdosisleistungen auf gemessenen Strahlungsanomalien,
berechnet mit der Näherung $Q = 1$; $1 \text{ R} \approx 1 \text{ rad} \approx 1 \text{ rem}$.

stark unterdurchschnittlich; Leukämie und Gehirnkrebs für Männer und Frauen stark unter dem Durchschnitt; Knochenkrebs bei Männern zwar deutlich über (jedoch insgesamt nur 1 Fall!), für Frauen unter dem Durchschnitt. Die Angaben beziehen sich auf Mortalitäten von 1970 bis 80. Den örtlichen Gesundheitsbehörden sind darüber hinaus keine epidemiologisch gesicherten chronischen Erkrankungen bekannt, die signifikant auf Strahlenwirkung zurückgeführt werden können.

Bereits die ältesten Beschreibungen des Fichtelgebirges heben hervor, daß die Gegend "... zu den gesündesten in ganz Deutschland gehört..." was sogar "... Kaiser Maximilian I bestätigt haben soll..." (G. Bruschi, 1612). Dabei wird unter anderem gerade die Gegend um Weißenstadt, dem späteren Zentrum der Uranprospektion, namentlich genannt. Weiter werden die "...dortigen Trinkwässer ... und die Luft ... als sehr gesund" bezeichnet und "das hohe Alter der Einwohner, die nicht viel krank sind" hervorgehoben (J.C. Pachelbel, 1716).

4. Uran in Gesteinen und Böden

4.1 Granite und Böden

Mit der Bestimmung des Urangehaltes ausgewählter Gesteinsproben des Untersuchungsgebietes wurde begonnen. Die drei hierfür eingesetzten Analysemethoden (2.2) zeigen nach Abb. 25 für Granite gute Übereinstimmung. Im allgemeinen wird man der Neutronenaktivierungsanalyse größere Zuverlässigkeit zutrauen. Bei Granitprobe G11/81 liefert sie jedoch zu hohe Werte. Die Low-Level-Gammaspektrometrie ergibt bei den Proben G1/81, G6/81, G15/81 etwas zu niedrige Werte. Bei den Proben 4/81, 5a/81, 5b/81, G17/81, G19/81, G20, G21, G22, G23, G25/81 liegt sie etwas zu hoch. Die Abweichungen sind jedoch relativ gering und wohl kleiner als mögliche Probenahmefehler. Die gute Übereinstimmung der Low-Level-Gammaspektrometrie mit den beiden anderen Methoden spricht für radioaktives Gleichgewicht in den betreffenden Proben, da das eine Voraussetzung für die Berechnung der Urangehalte ist. Die Urangehalte von Böden zeigten dagegen nach Abb. 26 teilweise stärkere Unterschiede. Dies wird durch größere Abweichungen vom radioaktiven Gleichgewicht verständlich. Sieht man von den Proben B1, B2, B5, B9, B10/81 ab, so ist jedoch auch hier noch einigermaßen ausreichende Übereinstimmung der nach verschiedenen Methoden bestimmten Urangehalte festzustellen.

Abb. 10 zeigt die gefundenen mittleren Urangehalte in Granitgestein in Abhängigkeit von dessen Typ. Man erkennt hier die bereits erwähnte Zunahme der Urangehalte mit der Typennummer des Granites.

4.2 Schlackenstein aus Marktredwitz (20)

Die Elementzusammensetzung eines Schlackensteines (Abb. 23) vom Marktplatz und der Hauptstraße von Marktredwitz wurde mit Hilfe der Neutronenaktivierungsanalyse (NAA), Röntgenfluoreszenzanaly-

**Urangehalt von Graniten aus einem Gebiet mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (Fichtelgebirge):
Vergleich von Low-Level-Gamma-Spektrometrie,
Neutronenaktivierungsanalyse und Messung verzögerter Neutronen
Experimentelles im Text**

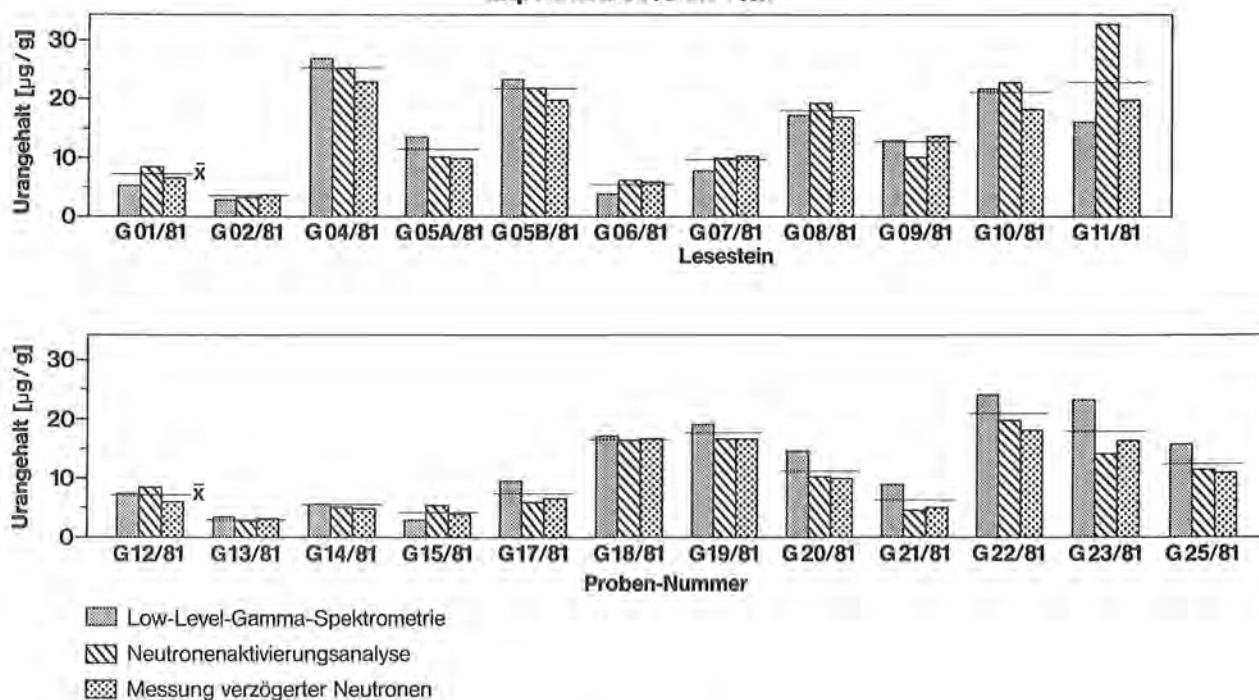


Abbildung 25

**Urangehalt von Böden, Kohle, Schiefer und Schlackenstein aus einem Gebiet mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (Fichtelgebirge):
Vergleich von Low-Level-Gamma-Spektrometrie,
Neutronenaktivierungsanalyse und Messung verzögerter Neutronen
Experimentelles im Text**

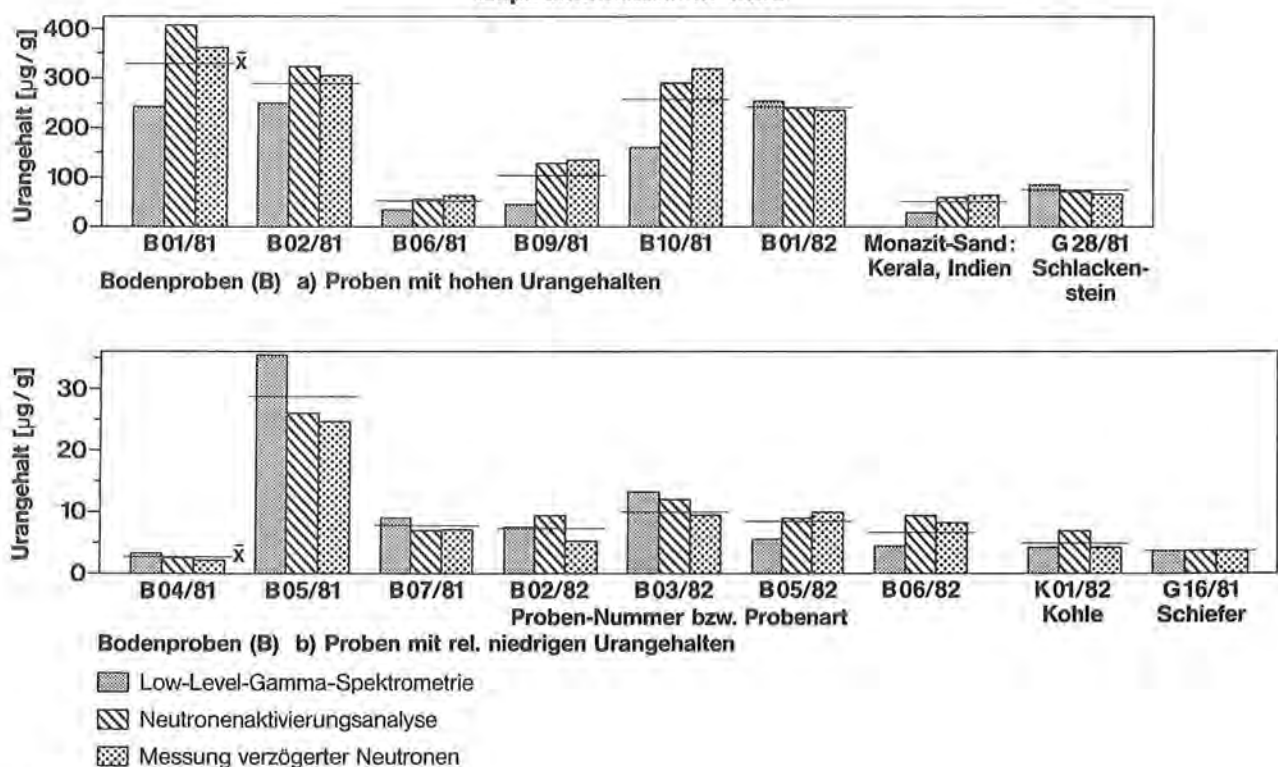


Abbildung 26

se und Low-Level-Gammaspektrometrie (U, Th, K) bestimmt. Ein Stein war im Jahre 1979 von Herrn Oberbürgermeister v. Lindenfels zur Verfügung gestellt worden. Demnach lag der Urangehalt bei etwa $100 \mu\text{g U/g}$ (ppm). Zum Beispiel ergab die Neutronenaktivierungsanalyse (20) folgende Elementgehalte (mit P. Schwerdt und G. Erdtmann):

$109,3 + 6,8 \mu\text{g/g U}$; $15 \mu\text{g/g Th}$.

$8,5 \%$ Ca; $3,3 \%$ Fe; $1,2 \%$ Zn; $0,8 \%$ Na.

$220 \mu\text{g/g Cr}$; $129 \mu\text{g/g Co}$; $26 \mu\text{g/g Cs}$; $13,8 \mu\text{g/g Sc}$.

Eine 1981 von Herrn Dr. A.W. Witmer, Philips Research Laboratories, Eindhoven ausgeführte halbquantitative Übersichtsanalyse mit der Laser-Massenspektrometrie, führte für einen kleinen Lokalbereich des Schlackensteinschnittes zu folgenden mittleren Elementgehalten, die jedoch nur als halbquantitative Übersichtswerte aufzufassen sind:

42% O; 27% Ca; 15% Si; $6,8 \%$ Al; $4,0 \%$ Mg; $1,8 \%$ K; $1,0 \%$ Ti;

$0,9 \%$ Mn; $0,8 \%$ Fe; $0,8 \%$ S; $0,6 \%$ Sr; $0,5 \%$ P; $0,4 \%$ Na; $0,3 \%$ F; $0,14$

Ce $0,10 \%$ Ba;

700 ppm Zr ; 600 ppm Y ; 500 ppm V ; 400 ppm La ; 300 ppm Nd ; 200 ppm Cr ; 100 ppm Sc ;

100 ppm Cl ; 100 ppm B ;

80 ppm Gd ; 80 ppm Pr ; 80 ppm Rb ; 70 ppm Sm ; 60 ppm Dy ; 70 ppm Sm ; 60 ppm Th ; 60 ppm Se ;

30 ppm Zn ; 30 ppm Yb ; 30 ppm Er ; 20 ppm Eu ; 20 ppm Ni ; 10 ppm Nb ; 10 ppm Ho ; 10 ppm Tb ;

8 ppm Hf ; 6 ppm Cu ; 5 ppm U ; 5 ppm Br ; 4 ppm Tm ; 4 ppm Lu ; 1 ppm Cs .

Die teilweise schlechte Übereinstimmung mit den zuverlässigeren NAA-Werten zeigt nicht nur den mehr halbquantitativen Charakter der Laser-Massenspektrometrie, sondern vielmehr vor allem auch die starke Heterogenität in der Zusammensetzung des Schlackensteines.

Die Oberflächenanalyse der gesägten Probenscheibe mit der Ionenmikrosonde (SIMS) auf Uran-238 bestätigte die deutlich heterogene Verteilung des Urans im Schlackenstein (H. Beske, H. Holzbrecher).

5. Einzelnuklide in Gesteinen und Böden

Die primären Träger der natürlichen Radioaktivität in den Gesteinen und Böden sind nicht eigentlich Elemente, sondern nur deren zugehörige Radionuklide. Dies ist besonders dann wichtig, wenn es sich um ganz oder nahezu trägerfreie Radionuklide aus den Zerfallsreihen des U-238 und Th-232 handelt.

Die verwendete Low-Level-Gammaspektrometrie erlaubt den Nachweis und die Bestimmung von gammastrahlenden Radionukliden, eine entsprechende Low-Level-Alphaspektrometrie die Analyse von Alphastrahlern. Hier sei nur auf den Schlackenstein eingegangen.

Das hochauflösende Low-Level-Gammaspektrum des Schlackensteines in Abb. 27 läßt etwa 53 Gammaenergien erkennen, aus welchen sich die folgenden Gammastrahler nachweisen und bestimmen lassen: Th-234, Ra-226, Pb-214, Bi-214 aus der U-238-Zerfallsreihe und Ac-228, Pb-212, Bi-212, Tl-208 aus der Th-232-Zerfallsreihe.

Die hochauflösende Low-Level-Alphaspektrometrie in der Frischgitter-Ionisationskammer (Abb. 28) erlaubt aus den Fußpunkten von nur etwa 11 Alphaenergiepeaks die Erkennung oder halbquantitative Bestimmung der Alphastrahler U-238, U-234, Rn-222, Po-218, Po-214, Po-210 aus der Uran-238-Reihe und von Rn-220, Po-216, Po-212, Bi-212 aus der Thorium-232-Reihe.

Alle im Schlackenstein identifizierten Radionuklide gehören zu den beiden natürlichen Zerfallsreihen des Uran-238 und Thorium-232. Es findet sich so gut wie kein Beitrag von K-40, im Gegensatz zu den Graniten. Es ist festzustellen, daß im Schlackenstein genau die gleichen Gamma- und Alphastrahler gefunden wurden wie in den Fichtelgebirgsgraniten, allerdings in etwas anderen Konzentrationen. Dieser Befund läßt sich dadurch verstehen, daß hier eben alle natürlichen Radionuklide letztlich nur aus Uran und Thorium stammen, die beide in dem etwa 80 Jahren alten Schlackenstein enthalten sind.

Über die Radionuklidanalyse in Gesteinen und Böden des Fichtelgebirges wird später ausführlicher berichtet.

Gamma-ray spectrum of slag stone

Ge(Li)-detector, efficiency 20%;FWHM 1,77 keV
at 1,33 MeV; peak/compton = 50,8/1; 4096 channel
analyzer ND 600 (Nuclear Data). Shielding: 3 mm Cd,
100 mm Pb, 30 mm Cu, 10 mm plexiglas
(from outside to detector side).

Road paving market place
Marktredwitz/Ofr., 1975.
Slag stone around 1900 from
Thuringia (Mansfeld?). Contains
about 100 ppm U

Measuring time: 25,0 hours.

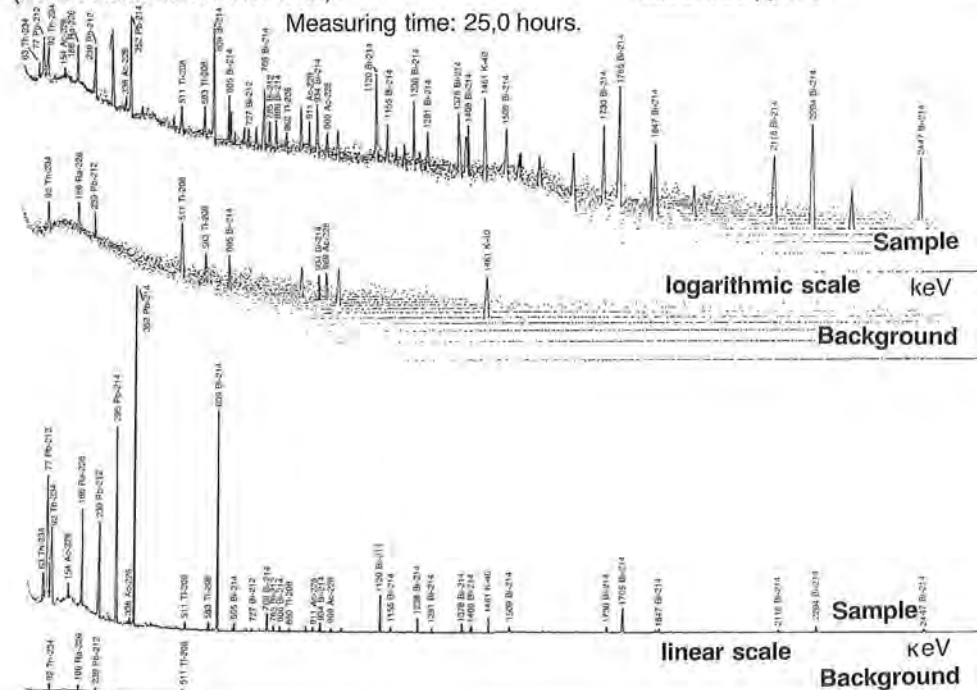


Abbildung 27: Low-Level-Gammaspektrum vom Schlackenstein

Alpha-ray spectrum of slag stone

Frish grid ionization chamber, 20 cm Ø (sample);
resolution 25 keV at 5,15 MeV; efficiency 49 %

Measuring time: 50 hours
Energy - range: 4–9,5 MeV

Road paving main street
and market place Markt-
redwitz/Ofr., 1975 and
1980. Slag stone around
1900 from Thuringia
(Mansfeld?), contains
about 80 to 100 ppm U

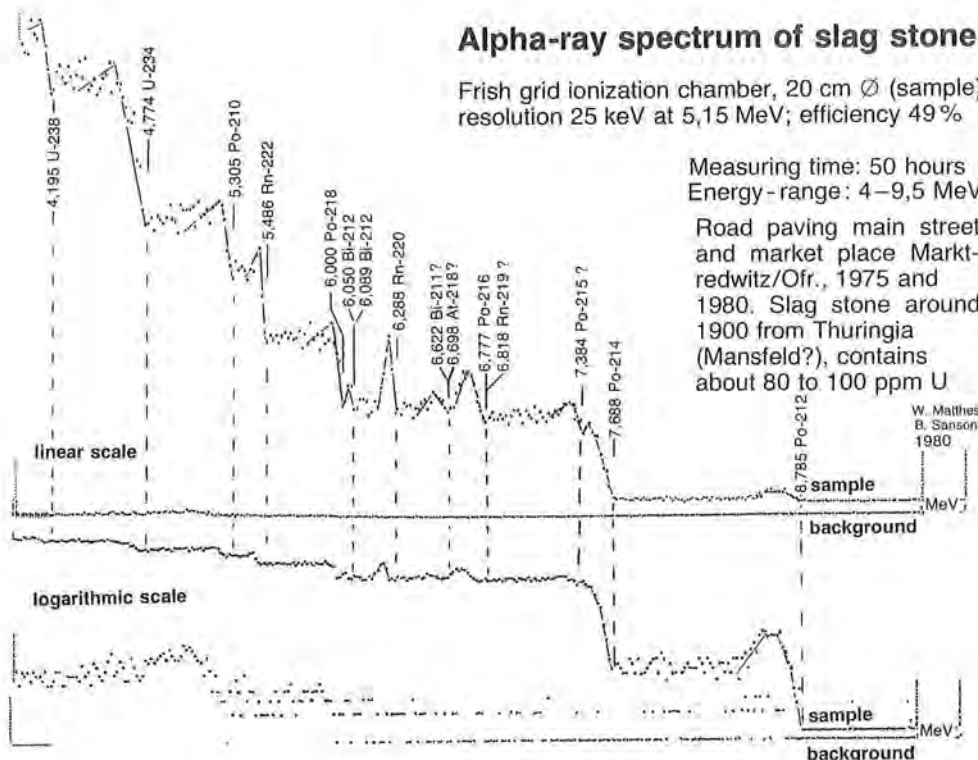


Abbildung 28: Low-Level-Alphaspektrum vom Schlackenstein

6. Radon in Quellen-, Brunnen- und Trinkwasser (mit J. Schnitzler)

6.1 Allgemeines

Die Konzentration von Radon-222 in den Quellen der Oberflächenwässer aus dem Granitgebiet hängt auch im Fichtelgebirge einerseits von (a) dem Gehalt des geologischen Untergrundes an Uran und dessen Tochter Radium-226 als dem Mutternuklid des Radon-222 sowie (b) von der Bruchtektonik der Granitformation ab. Je gebrochener und zersetzter der Granituntergrund ist, desto höhere Radonkonzentrationen sind bei gleichem Uran- und Radiumgehalt des Wasserträgers zu erwarten. Die Klüfte, Schächte und Ruschelzonen ermöglichen einen relativ raschen Wasser- und Gasaustausch. Nur so ist es möglich, daß die Radonkonzentration im austretenden Oberflächenwasser hundert- bis zehntausendfach höher als die entsprechende Radium-226-Konzentration sein kann. Wegen der kurzen Halbwertszeit des Radon-222 müssen die gemessenen hohen Radonkonzentrationen relativ nahe der Austrittsöffnung gebildet worden sein oder durch starke Bruchtektonik ein rascher Gas- und Wasseraustausch im Gestein des Wasserträgers erfolgt sein. Bei stagnierten Radonwässern ist darüber hinaus möglicherweise mit höheren Konzentrationen an Radontöchtern, zum Beispiel auch Pb-210, zu rechnen (1, 16, 28).

Relativ schnell nach dem Austritt des Radonwassers aus dem Boden oder Gestein verdampft der Hauptteil des Radons an der Oberfläche in die umgebende Luft. Daher sind bewegte Bäche oder stagnierende Oberflächenwässer bereits nach kurzer Zeit relativ arm an gelöstem Radon. Aus diesem Grunde ist die Probenahme der aus Quellen und Brunnen austretenden radonhaltigen Oberflächenwässern häufig relativ schlecht reproduzierbar. Es handelt sich um einen der seltenen Fälle der Chemischen Analyse, in denen dem Maximalwert eine höhere Realität zukommt als dem Mittelwert. Denn bei der Probenahme von Radonwasser kann höchstens Radon verloren gehen, nicht aber aus der Luft hinzu kommen. Aus

diesem Grund werden im folgenden bei mehreren wiederholten Messungen sowohl das arithmetische Mittel als auch der Maximalwert getrennt ausgewertet und angegeben.

6.2 Bisherige Literaturwerte

Für die Radon-222-Konzentrationen in unterschiedlichen Wasservorkommen in der Bundesrepublik machen Aurand, Gans, Rühle (3) folgende, relativ spärliche und teilweise unterschiedliche Angaben. In 8 Flüssen (1958) 10 - 35 pCi/l (\bar{x} = 20), in Radonquellen (1939) 40.000 - 5.000.000 pCi/l (1959), Mineralbrunnen (1958) 650 - 1.060, Quelle Bad Brambach 170.000 - 700.000; Trinkwasser (1958) aus Oberflächenwasser 10 - 50, aus Grundwasser 100 - 2500 (\bar{x} = 513 pCi/l).

Eine neuere Arbeit von 1981 aus dem Bundesgesundheitsamt (6) gibt für 531 untersuchte Trinkwässer aus der Bundesrepublik einen Bereich von $\leq 0,05$ bis 8.700 pCi/l, Median 159 pCi Rn-222/l an. Die Häufigkeitsverteilung hierfür findet sich in Abb. 29. Wesentlich höhere Radonkonzentrationen enthält die entsprechende Häufigkeitsverteilung für die USA (30). Die Radiumkonzentration für 760 entsprechende Trinkwässer in der Bundesrepublik liegt zwischen $\leq 0,05$ bis 3,7 pCi/l, Median 0,11 pCi Ra-226/l.

Aus der Sicht der Balneologie ergibt sich ein anderes Bild mit wesentlich höheren Radon- und Radiumkonzentrationen. Nach W. Carlé "Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa" (1975) (4) befinden sich die stärksten Radonquellen Deutschlands im Erzgebirge (Abb. 30). Die höchsten Werte hat Bad Oberschlema, dessen Quellen bei einer Schüttung von 2 l/sec im Mittel 160 Nano(!) Curie Rn-222/l, im Höchstfall sogar bis 1280 und 6660 nCi/l liefern. Die letztere Quelle wird als die stärkste Radonquelle der Welt bezeichnet (4). Die Quellen des Radonbades Bad Brambach, welches nur 22 km vom Fichtelgebirge entfernt im

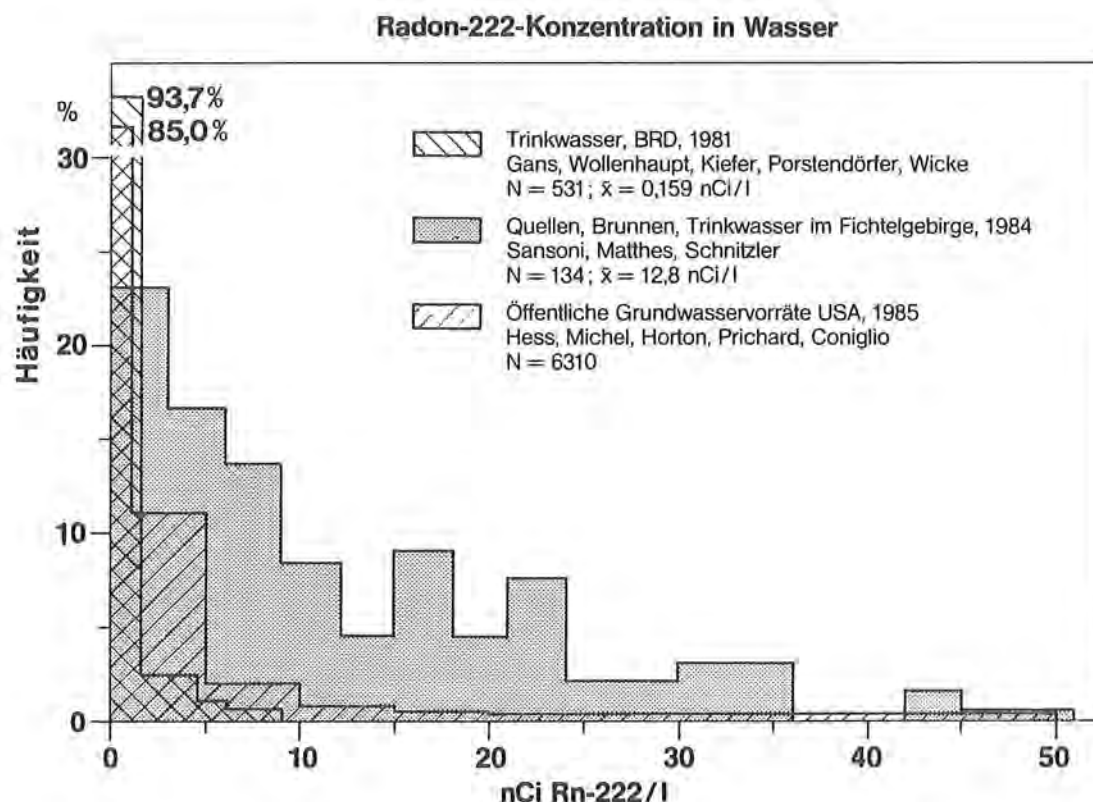


Abbildung 29: Vergleich der Radon-222-Konzentrationen von (6) und (30) mit den Ergebnissen vorliegender Arbeit



Abbildung 30: Vorkommen bekannter Radonquellen und Radonbäder im variskischen Mittelgebirge (nach (4))

Elstergebirge am Westrand des Erzgebirges liegt, hat zahlreiche Radonquellen zwischen 11 und 182 nCi Rn-222/l und eine Radonquelle von sogar 818 nCi/l. In St. Joachimstal finden sich Quellen von 57 bis 364 nCi/l, weitere Radonquellen zwischen 28 und 62 nCi/l sind für Gottesberg, Zinnwald und Graslitz angegeben. Auch heute noch liegen die Radonquellen mit den höchsten Radonkonzentrationen im Erzgebirge.

Für das Fichtelgebirge (Abb. 30) finden sich weniger Literaturangaben über Radonquellen (4). Häufig dienen dabei noch die alten Elektroskopmessungen von Günther (8) als Literaturquelle, sie wurden lediglich von den früheren Mache-Einheiten (ME) auf pCi Rn-222/l umgerechnet. Dies ist sicherlich nicht korrekt, wenn auch die Größenordnung der Messungen Günthers von uns häufiger als ursprünglich erwartet bestätigt werden konnte. Diese Quellen sind jedoch aus heutiger Sicht wissenschaftlich nicht ausreichend beschrieben. In diesem Sinne werden im Fichtelgebirge in (4) 14 Radonquellen zwischen 18 und 112 nCi Rn-222/l zitiert. Henrich (9, 10) nennt drei Quellen mit über 100 Mache-Einheiten: die Viehtränke in der Waldabteilung Kapelle bei Wunsiedel (102 ME), Wasser im Grasyrna-Steinbruch (im Fuchsbau ?) (230; 307 ME) und ein Wasserreservoir von Kirchenlamitz am Fuße des Epprechtsteins (102 ME) (nach (29) zitiert).

Als auch vom heutigen Standpunkt gesicherte und balneologisch genutzte oder nutzbare Radonquellen sind in (4) für das Fichtelgebirge nur angegeben: Radonquellen bei Neualbenreuth (Tiefbohrungen) mit ca. 111 nCi/l, eine Quelle am Fuße des Schneeberges bei Bischofsgrün mit 56 pCi/l (aus Günthers Arbeit von Mache-Einheiten umgerechnet) und das Radonbad Bad Steben mit 15,1 nCi/l für die Wiesenquelle (3 l/s) und 26,2 nCi/l für die Tempelquelle (1,2 l/s), die beiden letzteren nach Quellenanalysen aus dem Jahre 1965. Wurm (29) gibt eine Analyse für die Tempelquelle mit 41,4 nCi Rn-222/l an, was mit unseren Erfahrungen besser übereinstimmt.

6.3 Ergebnisse der Meßfahrt im Fichtelgebirge im Mai/Juni 1984 (22)

In der Zeit vom 23. Mai bis 23. Juni 1984 wurden von uns im Fichtelgebirge etwa 150 Wasserproben, vorwiegend aus Quellen, Brunnen und Trinkwasserversorgungen, meist im Einzugsbereich des Granitgebietes, aber auch aus 18 öffentlichen Brunnen im Stadtgebiet von Wunsiedel gezogen. Davon wurden 134 auf Radon-222 untersucht.

6.3.1 Gesamtkollektiv

Die mittlere Radon-222-Konzentration der 134 untersuchten Quell-, Brunnen- und Trinkwässer betrug nach Abb. 31 als Median 8,5, die Grenzwerte lagen zwischen 0,2 und 50,2 nCi Rn-222/l. Die entsprechenden Werte für die realistischeren maximalen Radon-Konzentrationen bei Mehrfachbestimmungen betrugen 8,9 und 0,2 - 59 nCi Rn-222/l. Hierbei ist zu beachten, daß es sich nicht wie bei den Literaturangaben unter 6.2 um pCi/l, sondern um nCi/l handelt.

**Häufigkeitsverteilung der Radon-222-Konzentrationen
in Wasserproben ; Fichtelgebirge ; Mai/ Juni 1984
Gesamtübersicht**

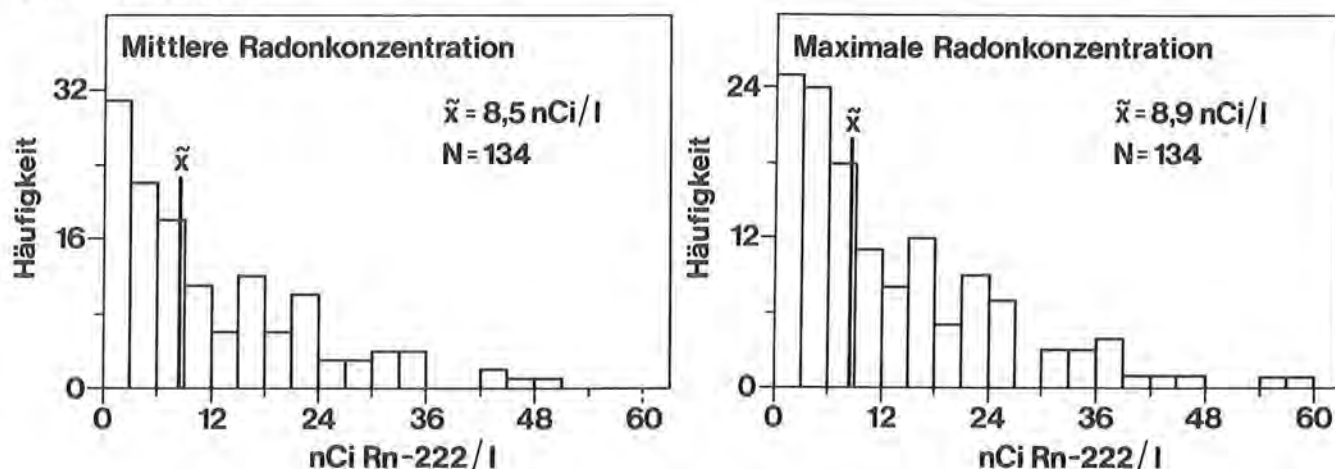


Abbildung 31: Gesamtübersicht über die Radonkonzentration der 134 im Mai/Juni 1984 gemessenen Wasserproben

6.3.2 Granitgebiet

Interessanter sind nach Abb. 32 die entsprechenden Angaben für das Granitgebiet alleine. Hier ergaben 86 Probenahmestellen einen Median der Radonkonzentration von 12,8 im Bereich von 1,1 - 50,2 nCi Rn-222/l. Die entsprechenden Maximalwerte sind 14.3 im Bereich 1,1 - 59 nCi Rn-222/l. Dies sind, im Vergleich zu den eingangs angeführten bisherigen Literaturwerten für die Bundesrepublik sehr hohe Radonkonzentrationen für Oberflächen- und Trinkwasser. Bei 18 nCi/l beginnt die Anerkennung als Radonquelle. Kein Wert lag unter 1.100 pCi Rn-222/l. 50 Quellen hatten über 10 nCi/l; 28 Quellen, ein Drittel aller Werte, lagen über 18 nCi/l; 9 Quellen (9,7 %) über 30 nCi/l und eine bei 50,2 nCi Rn-222/l.

6.3.3 Flüsse und Bäche

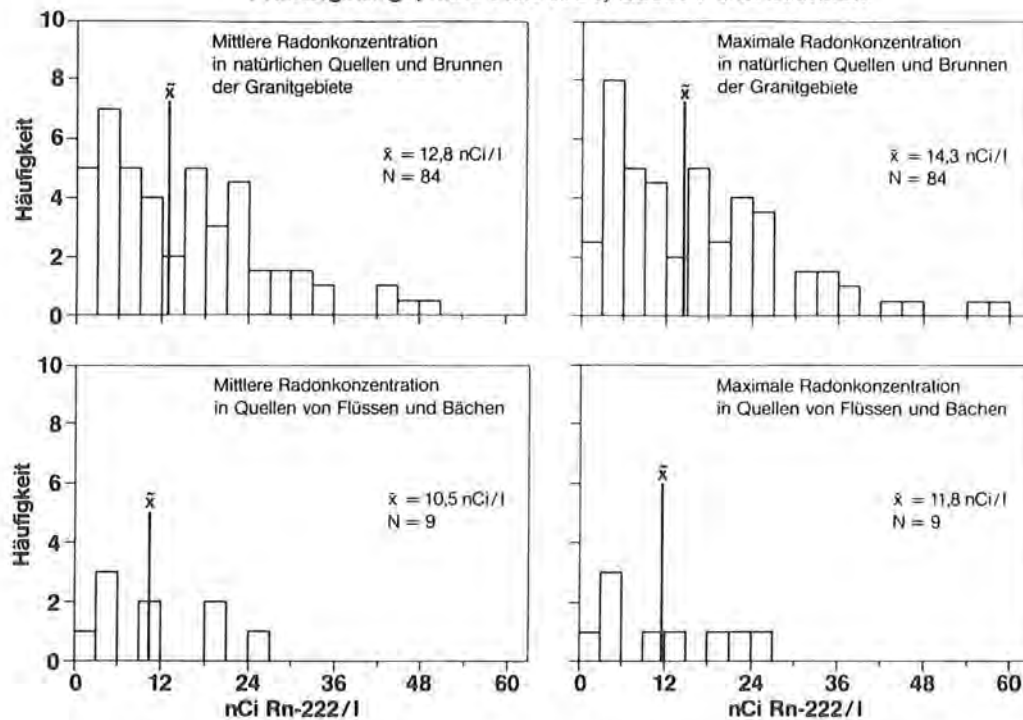
Bei den 9 untersuchten Quellen von Flüssen und Bächen liegen nach Abb. 32 die mittleren Radonkonzentrationen zwischen $\leq 0,2$ und 25,1, der Median beträgt 10,5 nCi/l. Maximale Radonwerte liegen zwischen $\leq 0,2$ und 25,1, der Median ist 11,8 nCi/l.

Die Quellen der bekannteren Flüsse des Fichtelgebirges ergaben im Mai/Juni 1984 folgende, nach zunehmenden Werten geordnete mittlere Radonkonzentrationen:

Sächsische Saale 1,10 nCi Rn-222/l (1985); Rösla 4,95; Eger 5,56; Weißer Main 11,2; Fichtelnaab 15,4; Steinbach 19,3; Lamitz 19,7; Kösseine 25,1 nCi Rn-222/l.

Demnach sind die Quellen des Steinbaches am Kornberg, der Lamitz am Epprechtstein und des Kösseinebaches auf der Kösseine als Radonquellen anzusprechen.

Häufigkeitsverteilung der Radon-222-Konzentrationen in Wasserproben Fichtelgebirge, Mai/Juni 1984, Quellen und Brunnen



Häufigkeitsverteilung der Radon-222-Konzentrationen in Wasserproben Fichtelgebirge, Mai/Juni 1984, Trinkwasserversorgung

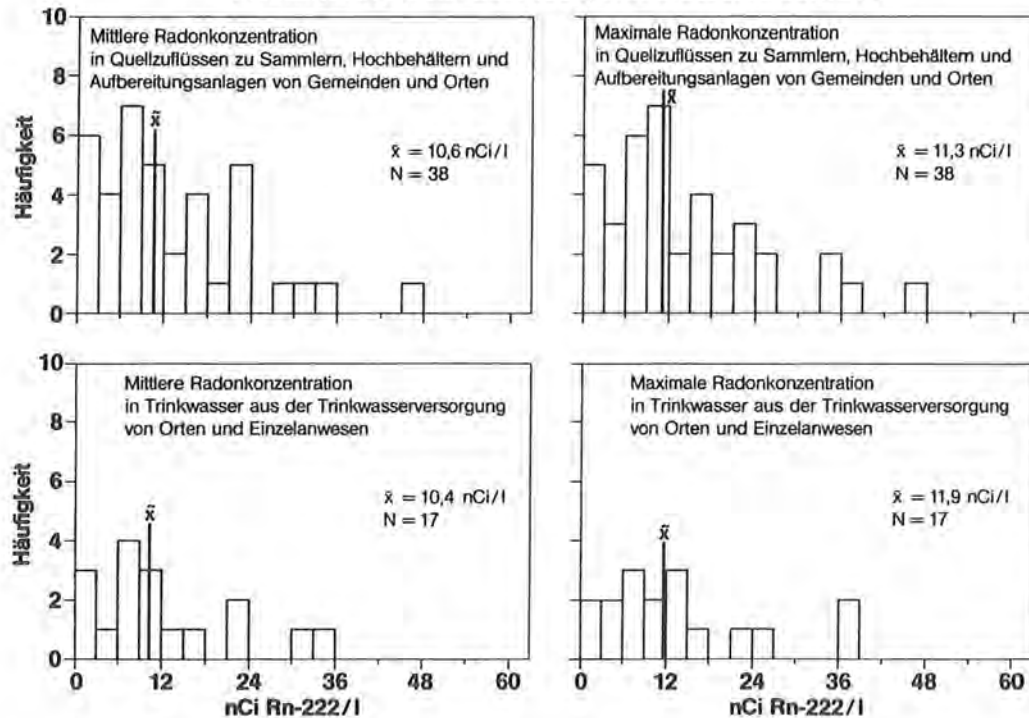


Abbildung 32: Teilkollektive der 134 im Mai/Juni 1984 auf Radon-222 gemessenen Wasserproben

6.3.4 Quellzuflüsse zu Sammlern, Hochbehältern und Aufbereitungsanlagen von Gemeinden und Orten

Die mittleren Radonkonzentrationen für 38 Probenahmestellen lagen nach Abb. 32 zwischen $\leq 0,2$ und $45,6$, der Median betrug $10,6$ nCi Rn-222/l. Die entsprechenden Werte für die maximalen Radonkonzentrationen sind $\leq 0,2 - 47,4$ bzw. $11,3$ nCi/l.

6.3.5 Trinkwasser von Gemeinden und Orten

Die Quellzuflüsse werden in den Sammlern, Entsäuerungs- und Wasseraufbereitungsanlagen des Untersuchungsgebietes wegen ihrer zu hohen Acidität, durch die das Rohrleitungsnetz angegriffen würde, in den meisten Fällen entsäuert oder aufbereitet. Da hierbei der Quellzufluß jeweils mit der Atmosphäre in der Aufbereitungsanlage in Berührung kommt, ist mit einem Verlust an Radon zu rechnen. Deshalb sollte das von der Wasseraufbereitungsanlage an das Trinkwassernetz abgegebene Trinkwasser niedrigere Radonkonzentrationen haben als die entsprechenden Zuflüsse nach 5.3.4.

Die 17 untersuchten Trinkwasserableitungen hatten nach Abb. 32 mittlere Radonkonzentrationen von $1,3$ bis $33,7$, der Median betrug $10,4$ nCi Rn-222/l. Für die maximalen Radonkonzentrationen sind die Werte $1,4 - 37,9$ und $11,9$ n Ci Rn-222/l.

Wie ein Vergleich der Mediane von $10,6 - 10,4$ bzw. $11,3 - 11,9$ ergibt, erfolgt in der Wasseraufbereitungsanlage im Durchschnitt entgegen der Erwartung kein nennenswerter Radonverlust. Das dürfte durch das weitgehend abgeschlossene Wasser/Luftsystem im Inneren der häufig auch unterirdisch angelegten Wasseraufbereitungsanlagen zu erklären sein. Hat sich einmal das Radongleichgewicht zwischen Luft und Atmosphäre eingestellt, erfolgt keine nennenswerte weitere Radonabgabe mehr. Der im Vergleich zu $11,3$ sogar höhere Wert von $11,9$ kommt dadurch zustande, daß nicht immer nur sich entsprechende Meßwertpaare verglichen wurden.

6.3.6 Höchste Radon-222-Konzentrationen im Fichtelgebirge

Von den in der Meßperiode 1981-84 von uns insgesamt etwa 337 im Fichtelgebirge gemessenen Wasserproben von überwiegend Quell-, Brunnen- und Trinkwasser hatten folgende die höchsten mittleren Radon-222-Konzentrationen:

- (a) Grubenwasser aus der Sole eines Uranprospektionsstollens, unmittelbar unter Tapeten von Uranglimmern und unter einem Pechblendegang: 431-483 nCi/l,
- (b) Tiefbohrung Sybillenbad, Rennersmühle bei Neualbenreuth (1983, gemeinsam mit Prof. Dr. K.-E. Quentin und Doz. Dr. Baumann): 88-101 nCi/l,
- (c) Tempelquelle, Staatsbad Bad Steben (1982/83), Friedrich-Zietsch-Brunnen, Kurpark: 54-56 nCi/l,
- (d) Quelle im mittleren Fichtelgebirgsmassiv bei Bischofsgrün: 56 nCi/l,
- (e) Waldquellen im Gebiet der Platte: 43,6 bzw. 50,2 nCi/l
- (f) Quelle am Epprechtstein: 42,4 nCi/l;
- (g) Alte Viehtränke am Nordrand der Stadt Wunsiedel: 36 nCi/l

Für die Tempelquelle in Bad Steben liegen unsere Meßwerte mit 54-56 nCi Rn-222/l in den Jahren 1982/83 wesentlich höher als der unter 6.2 angegebene Literaturwert von 26,2 nCi/l aus dem Jahre 1965. Offensichtlich haben in der Zwischenzeit Bohrungen und eine teilweise Neufassung der Tempelquelle stattgefunden.

6.3.7 Radonquellen

Ein größerer Teil der bereits 1907-12 von H. Günther (8) entdeckten Radonquellen, die noch in Mache-Einheiten mit dem Elektroskop gemessen worden waren, konnten interessanterweise bestätigt und durch neue Analysen wissenschaftlich gesichert werden.

Darüber hinaus wurde eine unerwartet große Zahl weiterer Radonquellen im Fichtelgebirge mit über 18 nCi, vorwiegend im Ein-

zugsgebiet des Granituntergrundes und seiner Bruchschollentektonik, gefunden. Von den 127 im Mai/Juni 1984 auf Radon untersuchten natürlichen Quellen und Brunnen usw. (22) erwiesen sich 33, das sind 26 %, also ein Viertel, als Radonquellen im Sinne der Definition der "Begriffsbestimmungen des Deutschen Bäderverbandes etc." (1979). Für sie gelten 18 nCi Rn-222/l als untere Grenze. Von den 86 Quellen und Brunnen etc. aus dem Granitgebiet war sogar, wie bereits erwähnt, ein Drittel Radonquellen.

Insgesamt wurden von uns in der Meßperiode 1981 bis 85 im Fichtelgebirge etwa 60(!) Radonquellen mit über 18 nCi Rn-222/l bestätigt oder entdeckt. Wie Abb. 33 zeigt, liegen diese bis auf wenige Ausnahmen im Granitgebiet des Fichtelgebirges oder in dessen unmittelbarem Einflußgebiet. Es hat den Anschein, als ob dort die Kamm- und Höhenlagen häufig besonders bevorzugt sind.

Hinsichtlich der Höhe der Radon-222-Konzentrationen reichen die gefundenen Radonquellen des Fichtelgebirges an diejenigen des benachbarten Elster- und Erzgebirges nicht heran.

Ihre überraschend weite Verbreitung im gesamten Granitgebirge sollte bei einer später denkbaren Festlegung von oberen Toleranzgrenzwerten für Radon-222 in Oberflächen- und Trinkwässern berücksichtigt werden. Die dabei entstandenen kurzlebigen Radontöchter, insbesondere Blei-210, bedürfen noch einer eingehenden Untersuchung.

Bei einer Bewertung der Radonabgabe für mögliche Heilanwendungen in der Balneologie ist zu bedenken, daß es neben hohen Radonkonzentrationen entscheidend auf hohe Quellschüttungen (l/sec) ankommt. Eine schwache Quellschüttung vermag auch bei sehr hohem Radongehalt nicht so viel Radon zu liefern wie eine schwächere Radonquelle mit starker Schüttung.

Im Vergleich zu den hohen Radonkonzentrationen der Radonquellen sind die entsprechenden Radiumkonzentrationen sehr niedrig und überschreiten nur in Ausnahmefällen 5 pCi Ra-226/l.

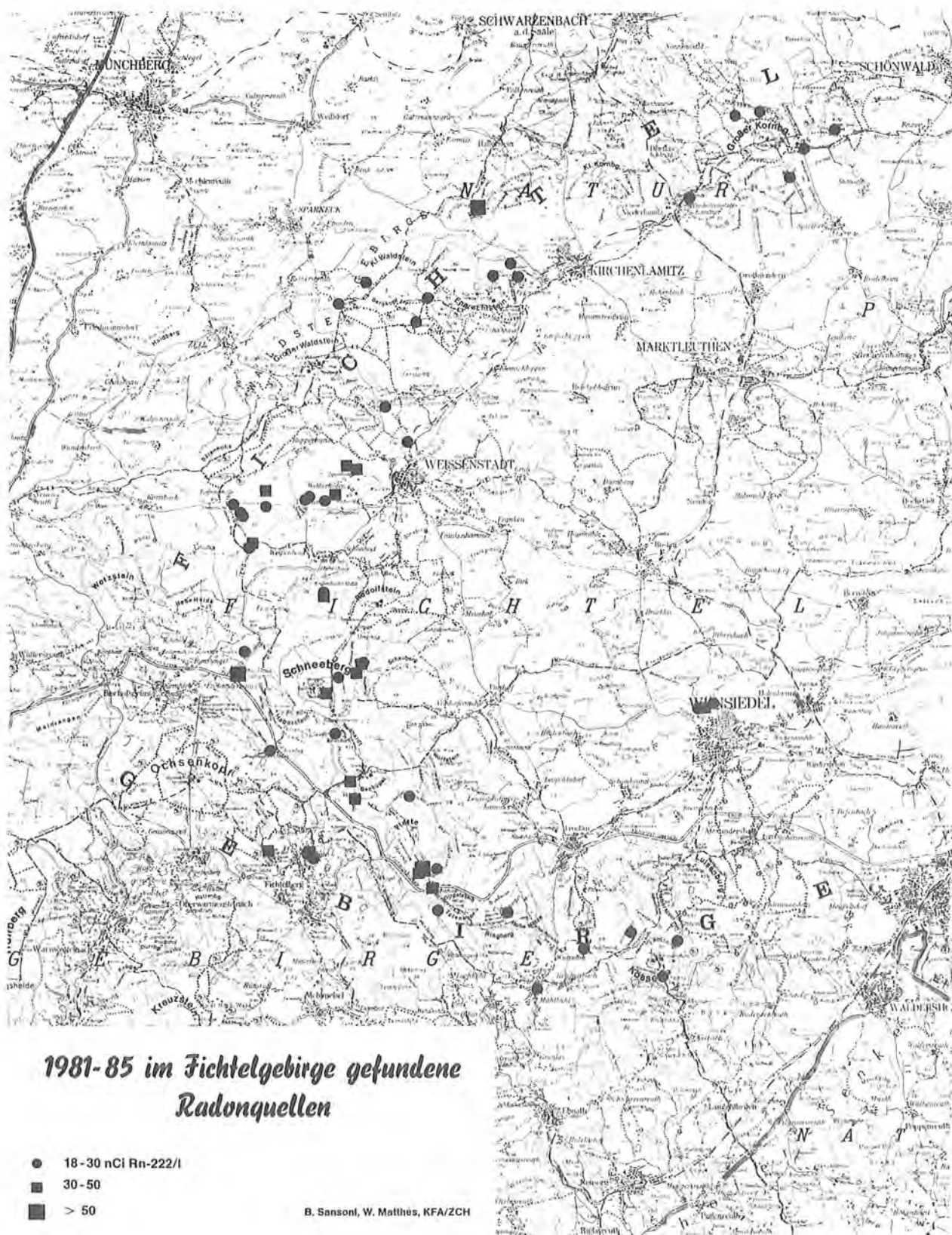


Abbildung 33: Lokalisierung der etwa 60 im Fichtelgebirge 1981-85 bestätigten und entdeckten Radonquellen mit über 18 nCi Rn-222/l.

7. Dank

Die Wasseruntersuchungen wurden 1981/82 gemeinsam mit Herrn Dr. M.A.R. Iyengar, Health Physics Division, Bhabha Atomic Research Centre Bombay, Kalpakkam, Indien, während seines Gastaufenthaltes in der KFA begonnen. An den Messungen im Feldlabor war Frau R. Scacciaferro, Staatliches Gesundheitsamt Wunsiedel, in dankenswerter Weise beteiligt, an den Gammadosisleistungsmessungen 1975 bis 1981 Frau A. Sansoni.

Für wertvolle Diskussionen und Unterstützung danken wir dem Leiter des Staatlichen Gesundheitsamtes Wunsiedel, Herr Dr. H. Schippel und seinem Wasserbeauftragten Herrn Limmer, dem Gesundheitsreferenten der Regierung von Oberfranken, Herrn LtReg.Dir. Dr. Konhäuser, dem Abteilungsleiter im Bayerischen Geologischen Landesamt, Herrn Dr. H. Gudden und seinem Mitarbeiter Dr. H. Schmid, dem Leiter des Wasserwerkes der Stadt Hof/Saale, Herrn Dipl.-Ing. H. Bodner, dem Leiter der Stadtwerke Wunsiedel/Ofr., Herrn Dipl.-Ing. Hußl und seinem Werkmeister J. Klier. Besonders danken wir Herrn R. Sansoni und Frau A. Nordgauer für die stete Hilfe bei der Einrichtung und Arbeit des Feldlabors in ihrem Hause in Tröstau, Birkenweg 7 während der Jahre 1982-85. Eine Danksagung für zahlreiche weitere, während der Zeit von 1975 bis 85 hilfreiche Personen findet sich in den speziellen Berichten.

8. Literatur

- 1) J.A.S. Adams, W.M. Lowder (Ed.), The Natural Radiation Environment, William Marsh Rice University, Houston, Texas 1964; 1069 S.
- 2) L.v.Ammon, Über radioaktive Substanzen in Bayern, Geogn. Jh., 23 (1911), 191-209
- 3) K. Aurand, I. Gans, H. Rühle, Vorkommen natürlicher Radionuklide im Wasser, in: K. Aurand, H. Bückner, O. Hug, W. Jacobi, A. Kaul, H. Muth, W. Pohlit, W. Stahlhofen (Hrsgb.) Die natürliche Strahlenexposition des Menschen, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1974; S. 30-50
- 4) W. Carlé, Die Mineral- und Thermalwässer von Mitteleuropa. Geologie, Chemismus, Genese. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH., Stuttgart, 1975; 643 S.
- 5) M. Eisenbud, Conclusions derived from the 1975 Conference on Areas of High Natural Radioactivity, in (28), S. 21-25
- 6) I. Gans, H. Wollenhaupt, J. Kiefer, J. Postendörfer, A. Wicke, Radium und Radon im Trinkwasser, in: Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität, 10. - 12. März 1981, München, Bundesgesundheitsamt und Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH, 1981; S. 370-386.
- 7) H. Gudden, H. Schmid, J. Cardoso, Uran in Bayern, Bericht über natürliche Uran-Vorkommen in Bayern, insbesondere über die mit Bundesmitteln geförderte Uran-Prospektion in Bayern 1956-1974. Bayerisches Geologisches Landesamt, München, 1974; 605 Seiten, 8 Abb., 63 Anlagen
- 8) H. Günther, Radioaktive Erscheinungen im Fichtelgebirge. Über die Radioaktivität der Stebener Mineralquellen, Diss. T.H. München, München, 1914; 149 S.
- 9) F. Henrich, Über den Stand der Untersuchung der Wässer und Gesteine Bayerns auf Radioaktivität etc., Z. Angew. Chem. 33 (1920) 5-8; 13-14
- 10) F. Henrich, Über Radioaktivität, radioaktive Mineralien und Wässer in Bayern (Fichtelgebirge und Oberpfalz), in: Die nutzbaren Mineralien, Gesteine und Erden Bayerns, 1 (1924) 173-180
- 11) F. Kirchheimer, Das Uran und seine Geschichte, Schweizerbartsche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 1963; 372 S.
- 12) F. Kirchheimer, Nachträge zu der topographischen Mineralogie des Urans aus alter Zeit, Z. dt. geol. Ges., 130 (1979) 421-438
- 13) F. Kirchheimer, Weitere Mitteilungen über das Vorkommen radioaktiver Substanzen in Süddeutschland, Jh. geol. Landesamt Baden-Württemberg, 15 (1973) 33-125

- 14) G.G. Mastino, Past and present views in the approach to the problem of high natural background areas, in (28), S.26-33
- 15) N.N. Die Strahlenexposition von außen in der Bundesrepublik Deutschland durch natürliche radioaktive Stoffe im Freien und in Wohnungen unter Berücksichtigung des Einflusses von Baustoffen. Bericht über ein vom Bundesminister des Inneren gefördertes Forschungsvorhaben. Der Bundesminister des Inneren, 1978
- 16) N.N. Proceedings Second Special International Symposium on Areas of High Natural Radioactivity, Poços de Caldas, Brazil, June 16-20, 1975, Brazilian Academy of Sciences, Rio de Janeiro, Brazil, 1977.
- 17) N.N., Sources and Effects of Ionizing Radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1977 Report to the General Assembly, with annex (UNSCAR-Report 1977), United Nations, New York, 1977; 725 S.
- 18) P. Richter, G. Stettner, Geochemische und petrographische Untersuchungen der Fichtelgebirgsgranite, Geologica Bavaria, München, Nr. 78, 1979
- 19) B. Sansoni, Natural high background areas at Fichtelgebirge (I. Communication), in: K.G. Vohra, U.C. Mishra, K.C. Pillai, S. Sadasivan (Eds.), Natural Radiation Environment, Proceedings of the Second Special Symposium on Natural Radiation Environment, Bombay, January 19-23, 1981; Wiley Eastern Limited, New Delhi etc., 1982, p. 74-84
- 20) B. Sansoni, Areas of higher natural radioactivity. II. A study of gamma dose rate measurements at the Fichtelgebirge and comparison with a monazite sand area at Tamil Nadu in India, Berichte der Kernforschungsanlage Jülich GmbH., in Vorbereitung
- 21) B. Sansoni, R.K. Iyer, R. Kurth, Concentration of Analytical Data as Part of Data Processing in Trace Element Analysis, Fresenius Z. Anal. Chem. 306 (1981) 212-232
- 22) B. Sansoni, W. Matthes, J. Schnitzler, Gebiete mit höherer natürlicher Radioaktivität. IV. Bericht über die 4. Meßfahrt in das Fichtelgebirge Mai/Juni 1984, Berichte der Kernforschungsanlage Jülich GmbH, in Vorbereitung
- 23) A. Schmidt, Radioaktives aus dem Fichtelgebirge, Z. Angew. Chem. 21 (1908) 2368-2369
- 24) A. Schmidt, Radioaktives aus dem Fichtelgebirge, Berg- und Hüttenmännische Rdsch., 1912

- 25) H. Schüttelkopf, H. Kiefer,
Die Dosisbelastung der Umgebungsbevölkerung durch natürliches und aus einer Uranuntersuchungsgrube emittiertes Ra-226 und Pb-210. Radioökologische Untersuchung im Raum Großschloppen.
Gutachten KfK 3367 Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH.,
Karlsruhe, August 1982
- 26) G. Stettner, Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25.000, Blatt Nr. 5937 Fichtelberg, München, 1958
- 27) H. Strunz, Die Uranfunde in Bayern 1804-1962. Selbstverlag Naturwiss. Verein Regensburg, Regensburg 1962, S. 1-92
- 28) K.G. Vohra, U.S. Mishra, K.C. Pillai, S. Sadasivan (Ed.),
Natural Radiation Environment, Proceedings of the Second Special Symposium on Natural Radiation Environment,
Bombay, January 19-23, 1981; Wiley Eastern Limited, New Delhi etc., 1982; 691 S.
- 29) A. Wurm, Geologie von Bayern, Gebrüder Bornträger, Berlin, 1961; S. 214 f., 241f, 425f., 530.
- 30) C.T. Hess, J. Michel, T.R. Horton, H.M. Prichard, W.A. Coniglio, The occurrence of radioactivity in public water supplies in the United States, Health Physics, 48 (1985) 553-586